UNIVERSITÉ PARIS 8 - VINCENNES À ST-DENIS

UFR ARTS, PHILOSOPHIE, ESTHÉTIQUE

Département de Musique

UTILISATION DE SONS MULTIPHONIQUES DU BASSON ALLEMAND COMME OUTIL DE CONTRÔLE POUR DES OEUVRES DE MUSIQUE MIXTE

William GOUTFREIND

Mémoire de Master 1 sous la direction de
Mme Anne SEDES

Année universitaire 2008/2009

Je tiens à exprimer mes remerciements auprès de :

Jean-Chantal HOEBEKE, *pour sa collaboration active à trouver des sources concernant la notation pour basson,*
Benoît COURRIBET, *pour son aide indispensable lors de l'expérience qui concernait le positionnement des microphones,*
Julien BREVAL, *pour son aide lors des tests de différents types de microphones sur le basson et sur la méthode d'enregistrement,*
Julien VINCENOT, *pour l'apport de ses lumières sur PWGL,*
Jérémy LABELLE et Thomas VITTEK, *pour leur soutien moral,*
Frédéric MAINTENANT, *pour nos passionnantes discussions philosophiques et philologiques,*
L'ensemble de mes professeurs, *pour la confrontation des idées, les connaissances que j'ai pu acquérir grâce à eux et pour la correction de certains défauts,*
L'ensemble de ma famille, *pour leur regard extérieur sur mon travail et leur pragmatisme*

et, pour n'oublier personne, je remercie ceux sans qui ce mémoire n'aurait été possible...

« Les plus belles découvertes cesseraient de me plaire si je devais les garder pour moi »
SÉNÈQUE.

Table des matières

INTRODUCTION....4
1. LES SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON : DÉFINITION ET NOTATIONS....7
1.1. Définition....7
a) Vocabulaire organologique : rappel....7
b) Histoire de la notation....8
c) Généralités autour des sons multiphoniques....8
d) Multiphonique homogène/hétérogène/aléatoire....9
e) Son multiphonique stable/instable....10
f) Autre restriction....10
g) Multiphonique/sons multiples (définition du son)....10
1.2. Notations....11
a) Notations dans des œuvres :....12
b) Notations dans des méthodes et traités :....15
c) Difficultés induites par les normes de la notation occidentale sur la notation des sons multiphoniques....26
2. LES SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON : CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET ANALYSE PAR INFORMATIQUE....28
2.1. Caractéristiques physiques....28
a) Exemple de sonagramme et analyses de résultats....30
b) Production instrumentale de sons multiphoniques....31
2.2. Détection Informatique....31
a) La prise de son....32
b) Analyse spectrale par FFT....39
c) Analyse de sons multiphoniques enregistrés et exploitation des résultats. .42
d) La reconnaissance par conditions multiples sur bandes de fréquences issue d'une FFT....44
e) Autre formes de détection....48
3. ILLUSTRATION MUSICALE DE LA DÉTECTION DE SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON....51
3.1. Réflexion autour de la pièce et poétique....51
3.2. Schéma formel....53
3.3. Notation informatique....55
CONCLUSIONS....59
ANNEXES :....61
Annexe 1 - 1 : Ouvrages cités ou consultés
Annexe 1 - 2 : Référence des illustrations
Annexe 2 - 1 : Enregistrements de sons multiphoniques sur CD
Annexe 2 - 2 : Tableau représentant les éléments de chaque piste du CD

Annexe 3 : Partition de Eco 1

INTRODUCTION

Dans l'histoire de la musique, le basson, parent du hautbois dans la famille des instruments à vent à anche double, a connu plusieurs grandes périodes où il fut un instrument intégré au répertoire, comme le piano l'est pour l'époque romantique, comme l'orgue l'est pour l'époque baroque et classique. Sans être assimilé à une époque en particulier, le basson a traversé, la tradition musicale occidentale discrètement. Pourtant, deux époques ont été particulièrement propices à l'écriture pour basson. La première grande période était l'époque baroque, époque durant laquelle ont fleuri les « bandes de hautbois » apparues sous Louis XIV, en orchestre de chambre. Traversant l'époque romantique, le basson a connu le répertoire orchestral et plusieurs soli d'orchestre lui sont consacrés[1]. Le répertoire propre du basson s'étoffe à nouveau à l'époque moderne[2]. En dehors de ces deux périodes, c'est un instrument, sans être délaissé du répertoire des pratiques collectives, qui souffre d'un manque relatif de répertoire propre, un peu comme son homologue le hautbois, quoique ce dernier semble plus préservé.

L'époque contemporaine, semble-t-il, fait partie de cette période où le basson n'est pas, a priori, mis en avant. Il existe bien quelques pièces plus ou moins célèbres, intégrées au répertoire comme la *Sequenza XII* de Luciano BERIO, *Hopi* de Philippe HERSANT, *Jeu des cinq éléments II* de Tiêt TÔN THÂT ou *In Freundschaft* de Karlheinz STOCKHAUSEN. Il est évident que les œuvres précédemment citées ne constituent pas l'essentiel du répertoire contemporain du basson mais, d'un autre côté, les œuvres pour basson du répertoire contemporain sont loin d'être toutes visibles et connues par les bassonistes, amateurs ou professionnels. Les raisons, qui expliqueraient ce manque de communication du répertoire contemporain pour basson, explications qui pourraient faire l'objet d'une analyse détaillée tant sur le plan sociologique que musical et commercial, ne font pas l'objet de cette étude.

---

1 Notamment, pour quelques uns des plus évidents, dans *Peer Gynt*, Edvard GRIEG, le poème symphonique *Hungaria* de Franz LISZT, le quatrième mouvement de la 4ème symphonie de Johannes BRAHMS. Chez Hector BERLIOZ, le basson est largement utilisé quoique très décrié par le compositeur même dans son traité d'orchestration. De même, l'utilisation du basson est constante chez Jean SIBELIUS, dans sa période romantique comme de façon postérieure. Plus régulièrement, les soli de basson au sein de l'orchestre sont mis en doublure du hautbois ou de la flûte.

2 Exemples : Sonatine d'Alexandre TANSMAN, L'ensemble des poèmes symphoniques d'Arthur HONEGGER, *L'Histoire du Soldat* et *le Sacre du Printemps*, Igor STRAVINSKY, Deuxième mouvement du *concerto pour orchestre*, Bela BARTOK.

Ce qui nous intéresse d'aussi près, sinon plus encore, est le constat selon lequel les œuvres contemporaines composées pour basson et électronique, nous sont encore plus rares, sinon difficilement disponibles. D'une part, la diffusion de pièces mixtes nécessite du matériel de plus en plus technologique : alors que, au début de la mixité musicale dans les années 1950, il s'agissait d'instruments acoustiques et de bandes enregistrées retransmises par le moyen d'haut-parleurs, les bandes enregistrées ont fait de plus en plus place aux systèmes informatiques et à l'interactivité, avec toutes les contraintes logicielles qui y sont liées. D'autre part, ces mêmes interfaces logicielles sont, le plus souvent, limitées au système d'exploitation informatique sur lequel repose le matériel informatique, posant le problème de portabilité des programmes informatiques. L'ensemble de ces facteurs limitants participe à la rareté de diffusion des œuvres de musique mixte, en temps réel et/ou en temps différé. Pour résoudre partiellement ce problème, l'intervention directe du compositeur lors des concerts est souvent requise ou, plus rarement, de spécialistes en informatique musicale.

Enfin, les œuvres mixtes sont plus rarement présentes au sein des médiathèques et, plus généralement, moins visibles et accessibles au musicien, qu'il soit professionnel ou non.

Dans la perspective de mieux comprendre les instruments et leurs limites, un certain nombre d'études acoustiques ont été menées, études dont le basson a bénéficié à plusieurs reprises, permettent de mieux comprendre son fonctionnement et ses capacités. Quelques centres de recherches – et nous aurons l'occasion d'y revenir – ont contribué à rendre explicite le basson au sein de la communauté musicale et scientifique. Nous en aborderons deux en particulier : le centre de Sonologie de l'Université de Padoue, avec les recherches effectuées par Sergio PENAZZI au cours des années 1970, et l'IRCAM avec les recherches effectuées par Michèle CASTELLENGO au début des années 1980.

Les sons multiphoniques ont des propriétés aussi intéressantes que multiples ou complexes. Nous verrons dans le présent mémoire à quel point ces propriétés peuvent servir de contrôles dans des pièces mixtes. Cette « catégorie » de son, qui apparaît parfois avant-gardiste, parfois assimilée dans la production contemporaine, possède cette *profondeur*, au sens qu'entendait Giacinto SCELSI, qu'il convient de développer si l'on veut mettre en avant une écoute fondée sur le timbre. En ce sens, les sons multiphoniques ont toute leur place dans une esthétique contemporaine[3]. Mettre en

3 « De toutes les nouvelles techniques applicables aux instruments à vent, aucune ne figure plus avant-gardiste dans les partitions que les Sons multiphoniques », READ [1993], page 158, c'est nous qui traduisons.

avant cette place des sons multiphoniques dans la musique contemporaine, leurs techniques de production, ainsi que leur utilisation possible, fait partie de notre préoccupation tout au long de ce travail.

La technique des sons multiphoniques apparaît sur de nombreux instruments (instruments à corde, instruments à vents de la famille des cuivres, instruments à vent de la famille des bois, etc...). Cependant, dans le cadre de notre recherche, nous étudierons l'utilisation des sons multiphoniques exclusivement par les instruments à vent de la famille des bois, et en particulier, au cas du basson (système allemand/français[4]).

Nous avons comme objectif de mettre en valeur certains points relatifs aux sons multiphoniques et à leur notation graphique et de voir comment le phénomène physique, induit par la production de sons multiphoniques au basson, peut permettre un contrôle d'une pièce mixte grâce à la captation et à l'analyse du son.

Ce présent mémoire fixera des résultats de recherches de deux types. La première est une recherche bibliographique, analytique et comparative sur les sources obtenues. La deuxième constitue une recherche expérimentale de sons multiphoniques en tant que phénomènes acoustiques et de la manière d'inclure nos résultats dans nos stratégies de détection par l'informatique.

Nous articulerons ces résultats en abordant, tout d'abord, quelques définitions indispensables, puis la notation des sons multiphoniques au basson, ensuite en énonçant les principes acoustiques qui nous intéressent ainsi que leur application possible, dans la perspective d'élaborer des modèles de détection de sons multiphoniques. Enfin, nous verrons un exemple d'articulation du contrôle sonore dans une pièce mixte de notre production.

---

4 i.e. : Les deux systèmes coexistent. La différence entre les deux est amoindrie dans la production des sons multiphoniques dans le sens où, malgré quelques différences de doigtés et de morphologie de l'instrument, le mécanisme de production de ces Sons multiphoniques est strictement identique. Le basson allemand (système Heckel) étant le plus répandu, nous prendrons prioritairement des exemples issus du répertoire du basson allemand. Pour plus d'informations sur ce sujet, lire le livre en référence JOPPIG [1990].

1. LES SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON : DÉFINITION ET NOTATIONS

1.1. Définition

a) Vocabulaire organologique : rappel

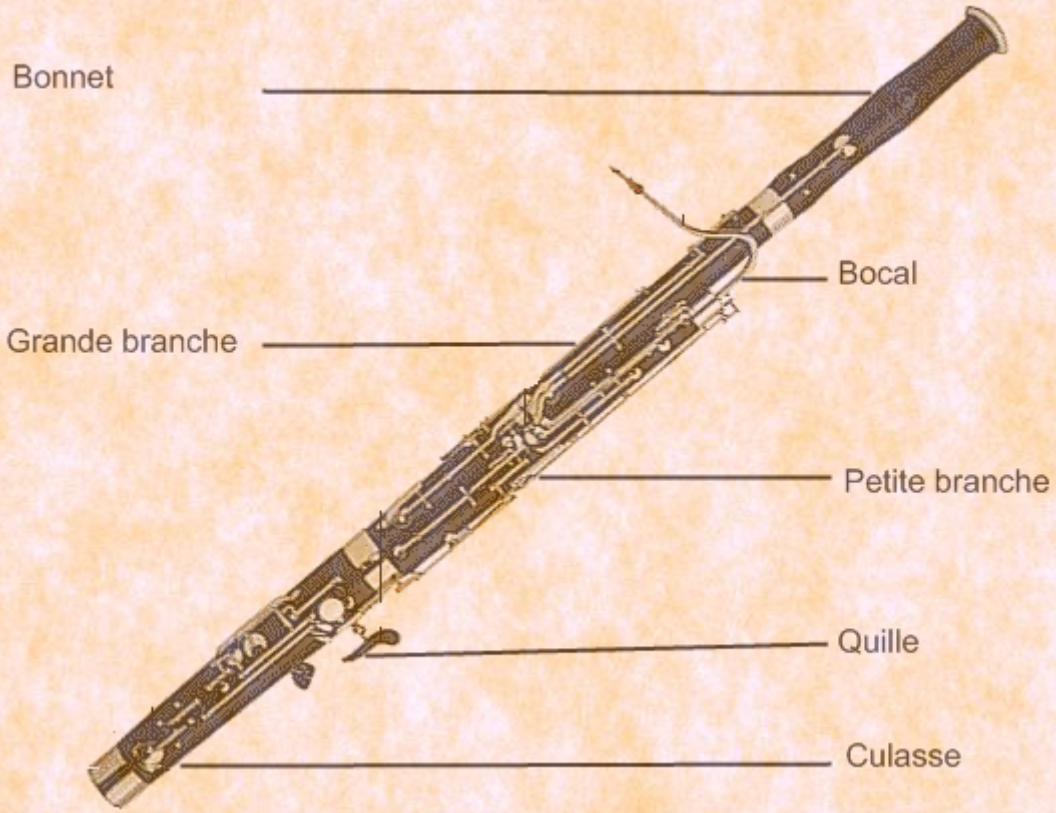

Illustration 1: Termes usuels désignant les parties isolables du basson

b) Histoire de la notation

Les sons multiphoniques sont un phénomène connu et attesté depuis le XVIII^{ème} siècle. Aucune notation n'a réellement été envisagée avant le XX^{ème} siècle[5]. En revanche, le manque de notation n'a sans doute pas empêché la transmission orale de certaines techniques de production de sons multiphoniques. Le premier « initiateur » d'une notation de sons multiphoniques est, selon Heinz RIEDELBAUCH[6], Witold SZALONEK en 1960. Cette date coïncide à peu près avec les premières recherches entre Bruno BARTOLOZZI et Sergio PENAZZI concernant les sons multiphoniques du basson.

c) Généralités autour des sons multiphoniques

Il serait trop hasardeux de limiter l'adjectif « multiphoniques » en se fondant uniquement sur son étymologie. En effet, parler de son multiphonique comme un ensemble de plusieurs sons devrait alors inclure sans distinction les sons harmoniques, les sons diphoniques, ce qui pourrait constituer quelques interactions à notre sens inutiles, notamment vis-à-vis de l'usage que l'on fait du « multiphonique ». En revanche, produire des sons harmoniques revient à filtrer des éléments du spectre sonore de manière à les mettre en valeur, les sons multiphoniques peuvent être filtrés de la même manière (pression de l'anche, pression d'air) sans en perdre leur identité.

Substituer le mot « multiphonique » à « multiples »[7] ne résoudrait pas non plus le problème précédemment cité. Ainsi, plusieurs manières de définir les sons multiphoniques existent, mais pas sans produire quelques contradictions.

Nous venons de voir que les sons multiphoniques ne peuvent pas être définis en fonction de leur étymologie. Il n'est donc pas possible d'essayer de définir les sons multiphoniques par l'étymologie sur le plan acoustique, d'autant plus que tout son, même naturel, est une composante de plusieurs sons existants[8]. Il est par conséquent assez difficile de considérer un son naturel comme multiphonique. Nous devons alors considérer l'usage du mot « multiphonique » tel qu'il apparaît.

---

5 « L'émission multiphonique […] n'a jamais été exploitée en tant que telle dans la musique occidentale à tradition écrite (exception faite de cette méthode de flûte de BAYR (ca. 1825) citée par R. MEYLAN. » CASTELLENGO [1982], page 2.

6 RIEDELBAUCH [1988]. Heinz RIEDELBAUCH y cite une publication de Witold SZALONEK intitulée *On the Unexploited Tonal Characteristics of Woodwind Instruments,* et qui date de 1960.

7 KIENTZY [1982]

8 i.e. Hormis les sons de synthèse comme les sons sinusoïdaux. C'est la base de la théorie découlant vers l'analyse par la transformée de Fourier.

L'emploi du mot « multiphonique », pour les instruments à vent du moins, est envisagé comme ceci : un son *multiphonique* est un son complexe constitué d'une sensation auditive, caractérisée par l'impression d'entendre plusieurs sons ou sensations de hauteurs simultanément, alors que l'instrument sur lequel sont produits les sons multiphoniques est un instrument monophonique, dont l'usage musical habituel est de ne produire qu'un son ou qu'une sensation de hauteur à la fois.

Une autre façon, analogue, d'aborder une définition des sons multiphoniques est de les considérer comme étant une perception auditive de hauteurs de notes simultanées, alors que physiquement ces hauteurs perçues sont les résultantes d'une hésitation de l'air entre plusieurs longueurs de colonne d'air, de l'interaction de ces longueurs d'onde entre elles et d'une amplification du phénomène de résonance du son.

d) Multiphonique homogène/hétérogène/aléatoire

Une fois que la définition semble fixée, nous pouvons alors tenter de classer différentes catégories de sons multiphoniques par l'intermédiaire de définitions secondaires.

Nous appellerons *multiphonique homogène*[9] tout son multiphonique dont la production sonore ne provoque pas de battement ou roulement de fréquences au niveau perceptif ou au niveau de l'analyse spectrale.

Nous appellerons *multiphonique hétérogène*[10] tout son multiphonique dont la production sonore provoque des battements ou roulements de fréquences au niveau perceptif ou au niveau de l'analyse spectrale.

Nous appellerons *multiphonique aléatoire* tout son multiphonique dont la production sonore ne permet pas de définir des constantes perceptibles à l'audition dans le temps de production du son multiphonique.

---

9 *« By homogenuous chords we mean groups of sounds which do not generate perceptible beats », Il fagotto altre techniche*, PENAZZI [1982], page 67, c'est nous qui traduisons. Il s'agit évidemment de « battements » au sens acoustique du terme.

10 « Heterogeneous chords are characterized by strongly audible beats », PENAZZI [1982], page 67, c'est nous qui traduisons.

e) Son multiphonique stable/instable

Pour l'instrumentiste, les sons multiphoniques peuvent être classés suivant la difficulté d'exécution instrumentale, ou, autrement dit, sur la faculté de contrôler l'émission et l'entretien du son. Ainsi, nous pouvons affecter deux types de sons multiphoniques, plus ou moins indépendamment du classement précédemment établi.

D'une part, les sons multiphoniques sont dits « stables » si leur émission et leur entretien, sur un temps donné raisonnable, donnent un résultat prévisible pour l'instrumentiste, tant sur le plan de leur production que de leur résultat sonore.

D'autre part, les sons multiphoniques sont dits « instables » si, contrairement aux sons multiphoniques stables, leur émission et/ou leur entretien, sur un temps donné raisonnable, donnent un résultat moins prévisible ou du moins, amènent quelques difficultés pour l'instrumentiste à contrôler la production sonore et à la mettre en adéquation avec le résultat sonore espéré.

f) Autre restriction

Le domaine de l'électroacoustique porte une acception particulière à la multiphonie. Il s'agit de qualifier l'espace sonore et non pas le son en lui-même. La multiphonie au sens électroacoustique est alors une diffusion sur plusieurs hauts-parleurs, dans la perspective de donner une spatialité au son. Nous n'inclurons pas ce sens à notre définition.

La technique de la diphonie, qui est un cas très particulier des sons multiphoniques, fait appel à deux sources de productions simultanées et séparables du son alors que le sens que nous prendrons des sons multiphoniques fait appel qu'à une unique source initiale de production sonore.

g) Multiphonique/sons multiples (définition du son)

Nous pourrons également parler de « sons multiples » plus généralement dès que l'on parlera de son à sonorité multiples, incluant les sons multiphoniques, mais aussi les sons harmoniques et diphoniques.

1.2. Notations

Le but d'une notation est d'être au minimum un aide-mémoire à l'exécution musicale qui en découle. Si la notation est suffisamment fournie en détails symboliques, elle devient non seulement un aide-mémoire, mais aussi un guide d'interprétations possibles. Si la notation possède une densité de détails symboliques très importante, elle restreint le champ d'interprétations possibles.

Émettre un jugement entre les trois manières sus-citées pour aborder la notation revient à émettre un jugement esthétique, donc partial.

Nous avons pu trouver différentes occurrences d'écriture de sons multiphoniques sur des partitions. A partir de ces notations, nous en avons extrait certaines, révélatrices d'une typologie d'écriture de son multiphonique spécifique. Bien que nous soyons contraints de les aborder une à une, il ne faudra pas voir dans notre classement une volonté d'émettre une quelconque préférence stylistique ou esthétique qui favoriserait une typologie au détriment d'une autre.

a) Notations dans des œuvres :

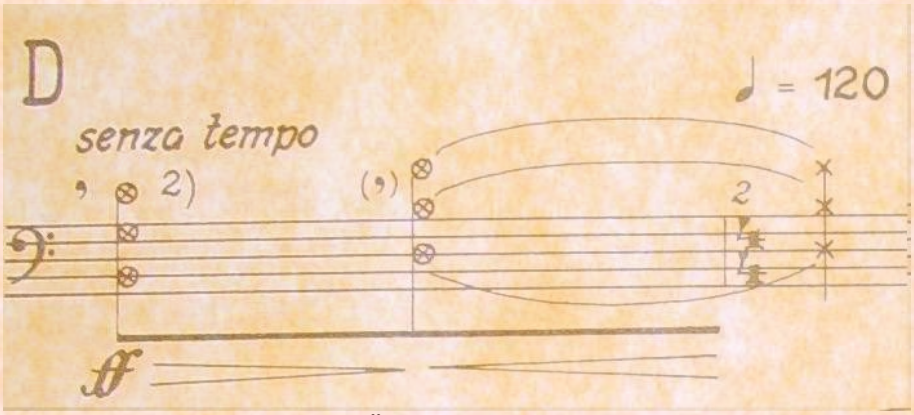

Illustration 2: Arne MELLNÄS, Soliloqiuim IV, 1976, début de la section D

La notation des sons multiphoniques chez Arne MELLNÄS présente un problème intéressant. Les sons multiphoniques, techniquement, peuvent demander un temps d'adaptation nécessaire à leur production. Il s'agit évidemment d'un compromis à émettre entre la gestion des événements de la pièce et le temps de production et d'entretien du son. Dans cette notation, le temps est temporairement oublié, laissé libre à l'instrumentiste.

L'harmonie suggérée par cette même notation est assez imprécise. Pour la même raison que nous évoquerons également plus loin, nous serions en peine de savoir s'il s'agit d'une notation correspondant à l'audition du multiphonique ou s'il s'agit d'une notation « mnémotechnique » qui agirait non pas sur la façon de faire sonner le multiphonique, mais sur le doigté sur lequel le multiphonique peut être produit.

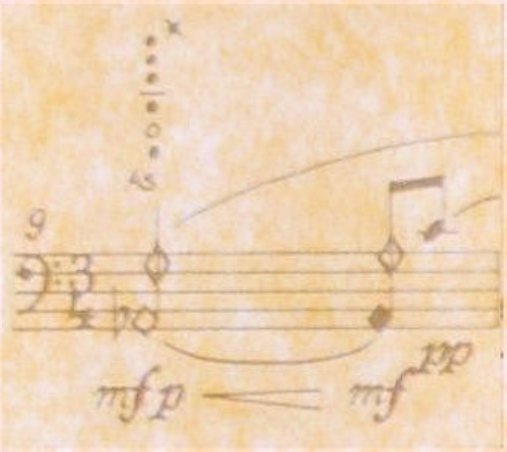

Illustration 3: Wjatscheslaw Petrowitsch ARTJOMOW, Recitation V, 1977, mesure 9

La caractéristique nouvelle de cette notation par rapport à la première, et qui est présente à plusieurs reprises dans *Recitation V,* est la présence d'une symbolisation du son multiphonique au travers de losanges dont l'un sur la tête de la note et l'autre superposé à la queue. Rajoutons à cette notation la présence du doigté suggéré pour produire la sonorité demandée. La hauteur de note définie comme un la bémol n'est qu'un aide-mémoire par rapport au doigté du son multiphonique, elle sert à retrouver facilement le doigté à partir d'une similitude avec un doigté usuel pratiqué pour cette hauteur. Enfin, nous pouvons constater la présence de nuances destinées à varier la combinaison de partiels entendus.

Cette notation a l'avantage d'être pratique pour l'instrumentiste et relativement facile à comprendre, mais présente néanmoins l'inconvénient de manquer encore de précision sur ce que l'instrumentiste doit *faire* entendre, l'éventail de possibilités, malgré les indications, laisse une marge relativement ouverte à l'exécutant.

Illustration 4: Friedrich SCHENKER, Solo I, 1982, mesure 23 et début de la mesure 24

Chez Friedrich SCHENKER, la notation est relativement précise concernant sa durée. Le son multiphonique représenté mesure 24 est constitué d'une note carrée, d'une losange creux au milieu de la queue ainsi que des trois traits de trémolo. Sans notice explicative supplémentaire pour produire ce multiphonique, nous aurions cependant quelques doutes. En effet, aucune indication n'est faite sur le doigté à effectuer, ou simplement sur la signification de la hauteur (sol bémol) représentée : on pourrait croire, indifféremment,

- qu'il pourrait s'agir d'une indication du doigté à effectuer et/ou
- qu'il s'agirait d'une hauteur fondamentale de multiphonique à reproduire en expérimentant son instrument pour trouver le doigté le plus approprié.

Un autre doute peut apparaître concernant le trémolo noté en haut de la note. Il pourrait s'agir d'attaques rapides de la langue (comme usuellement) ou alors d'une référence à un son multiphonique hétérogène, en raison des battements ou roulements qui le constituent et qui pourraient ressembler, à l'audition, à un trémolo.

Illustration 5: Edison DENISOW, Fünf Etüden, 1983, étude IV, première mesure

La notation proposée par Edison DENISOW doit être lue comme si les deux portées étaient deux lectures possibles d'une même idée. Sur la portée du haut, nous avons une variante de la précédente notation, incluant les symboles de losanges. A cela, on ajoute la tête de note ronde qui symbolise l'émergence de certaines hauteurs à partir du son multiphonique. Ce pourrait être aussi une indication de positionnement par rapport au « spectre multiphonique ».

Au centre de la figure, nous trouvons les doigtés correspondant à une indication de position de lèvres sur l'anche ainsi que de pression sur l'anche (ronds) ou de pression d'air (carrés). Sur la portée du bas est transcrit le résultat sonore sous forme de hauteurs relatives à l'impression acoustique qui résulterait d'une bonne exécution des sons multiphoniques tels qu'indiqués par les doigtés plus hauts.

Cette double notation a l'avantage de proposer plusieurs points de vue évoquant chacun la bonne technique d'exécution et un résultat sonore critiquable selon certaines volontés du compositeur. L'un des inconvénients est que cela « oblige » l'instrumentiste à lire un nombre relativement important d'informations simultanément, tout en contrôlant le résultat sonore, dans l'hypothèse où il s'agit d'une lecture à vue de la pièce. L'autre inconvénient est que l'on n'a, semble-t-il, pas la répartition des nuances de chaque hauteur à distinguer, ce qui pourrait rendre difficile le jugement sonore.

Par la suite, nous n'avons pas trouvé de typologie dans les oeuvres trop différentes de celles déjà exposées. En particulier, dans la Sequenza XII de Luciano BERIO, qui date de 1997, les sons multiphoniques sont notés d'une façon très similaire à celle d'Arne MELLNÄS, une notice est simplement ajoutée séparément afin de suggérer le doigté souhaité. Dans ce même cas de la Sequenza XII, un enregistrement[11] a été produit du vivant du compositeur et avec son accord. Nous pourrions donc nous interroger sur le statut de l'enregistrement, en particulier s'il constitue, ou non, un support aussi utile que la notation en elle-même.

b) Notations dans des méthodes et traités :

Avant tout, pour régler partiellement la question de l'exécutabilité de sa méthode, Sergio PENAZZI expose dans un premier ouvrage, qui date de 1971, un ensemble de doigtés pour des sons naturels sur l'ensemble de la tessiture du basson, au quart de ton, puis un certains nombre de doigtés pour exécuter des sons multiphoniques.

En introduction à son exposé, il indique toutes les variables individuelles que l'instrumentiste doit être capable d'étalonner correctement, de manière à obtenir les mêmes résultats sonores que ceux suggérés par les doigtés et modes de productions exposés tout au long de la méthode. Sergio PENAZZI propose aussi un exercice pour s'assurer que les conditions d'obtention des sons multiphoniques exposés par la méthode sont idéales.

Il s'agit bien d'un « mode d'emploi » avec, d'une part, les doigtés expliqués et, d'autre part, des exercices d'application. Sergio PENAZZI y envisage le son de manière principalement harmonique et rythmique, ce que suggère aussi l'emploi du mot « chord » pour parler de son multiphonique.

Dans la majorité des cas, une portée est dessinée avec des hauteurs approximées au quart de ton et, au-dessus de la portée, est indiqué le doigté correspondant et éventuellement des indications concernant l'embouchure (position des lèvres, pression des lèvres sur l'anche double, utilisation ou non d'une pression des dents) et/ou des indications de la pression d'air à produire pour que le son multiphonique sorte avec les caractéristiques décrites.

---

11 *Sequenzas*, Luciano BERIO. Interprètes de l'Ensemble Intercontemporain. Editeur : Polygram Hambourg ; Deutsche Grammophon, 1998

Selon la qualification du son multiphonique (homogène, hétérogène, smorzato, avec trille, glissando, aléatoire), PENAZZI propose des adaptations de notation.

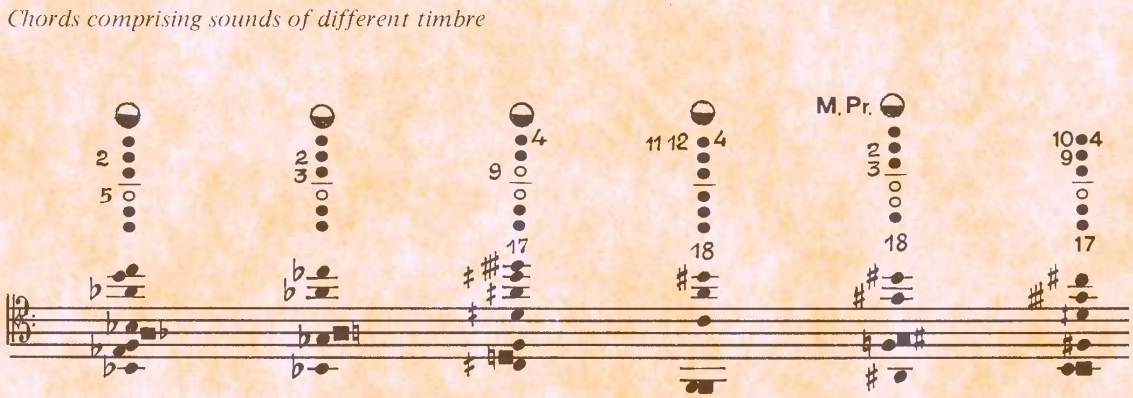

Illustration 6: « Accords comprenant des sons de différents timbres »(sic)

Pour les sons multiphoniques homogènes, il s'agit de convertir des fréquences en hauteurs, et de décider de les fixer sur la partition si la fréquence analysée possède une amplitude supérieure à 30 DB mesurés. Comme méthode pour produire le son multiphonique, PENAZZI ajoute le doigté instrumental, ainsi que, si nécessaire, des indications de pression des lèvres sur l'anche ou des indications de pression d'air. Pour les sons multiphoniques hétérogènes[12], il est ajouté une note carrée pleine, qui indique ainsi la hauteur sur laquelle ont lieu des battements.

12 Exemple de notation de sons multiphoniques hétérogènes en Illustration 6

Illustration 7: "Accords étouffés" (sic)

L'illustration ci-dessus montre que les sons multiphoniques peuvent être caractérisés par un « rythme » imposé par la fréquence des battements ou roulements de ceux-ci. Il est possible de contrôler la fréquence des battements ou roulements en modifiant les nuances (plus précisément, la pression des lèvres et la pression d'air) appliquées sur les sons multiphoniques hétérogènes.

Il n'y a pas cependant de correspondance univoque entre la fréquence des battements (ou roulements) et la nuance appliquée et, s'il y a une correspondance entre fréquence des battements (ou roulements) et nuance appliquée, la nuance la plus basse peut entraîner la fréquence la plus basse, ou alors la logique inverse qui consiste à énoncer que la nuance la plus basse peut entraîner la fréquence la plus haute.

Cette logique peut ainsi être différente d'un son multiphonique à l'autre, mais peut aussi être changeante au sein d'un même son multiphonique, en fonction notamment d'un « seuil » de nuance sur lequel la logique peut s'inverser.

Illustration 8: "Trilles entre accords" (sic)

A partir des notations, il est alors possible d'émettre plusieurs combinaisons de notations. L'illustration ci-dessus est un exemple du fait que, comme n'importe quel son naturel, le son multiphonique peut-être utilisé comme note de trille, même si l'on considère alors le son multiphonique comme un accord. Certains sons multiphoniques sont dotés d'une fréquence grave commune – c'est le cas du deuxième et troisième exemple dans l'illustration 8 -, ce qui permet de donner l'impression de pédales d'une fréquence grave invariante.

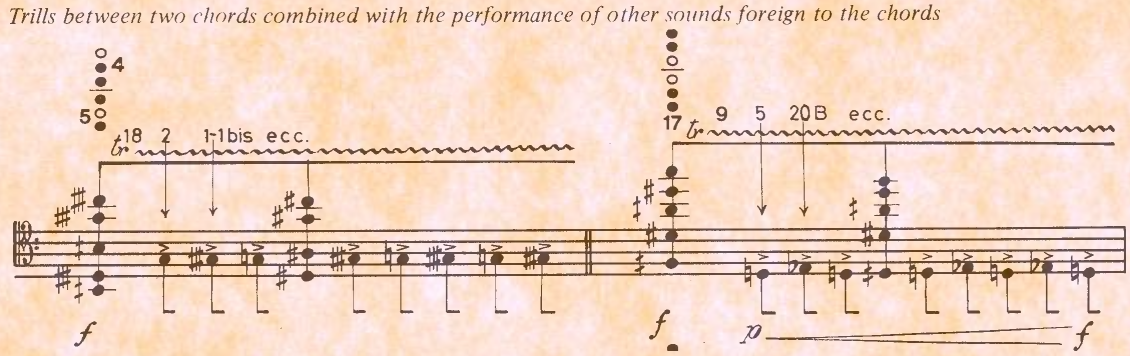

Illustration 9: "Trilles entre deux accords combinés à l'exécution de plusieurs sons étrangers aux accords" (sic)

Dans un cas plus complexe, quelques fréquences peuvent ressortir avec la rapidité d'autres doigtés sous forme d'acciacatura, le tout combiné à un trille de sons multiphoniques . La notation employée alors par PENAZZI peut fait appel à ces trois techniques plutôt traditionnelles. Le trille peut être sous forme d'un changement de doigté, mais aussi peut être un trille en changeant la pression d'air émise.

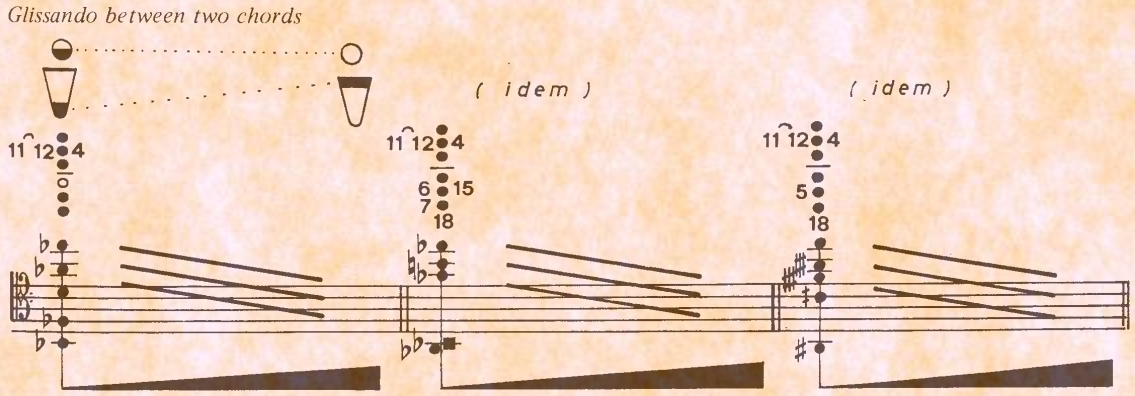

Illustration 10: "Glissando entre deux accords" (sic)

Une dernière variable pouvant modifier un son multiphonique est la position des lèvres sur l'anche double. En combinant cette variable avec la pression d'air, il est possible pour PENAZZI de suggérer une notation de glissandi de sons multiphoniques. Il faut noter que le glissando de son multiphonique sera variable selon l'instrumentiste, mais contrôlable selon les deux variables en haut de la portée. D'autre part, il a été constaté que le glissando accélère une fois que les lèvres atteignent l'extrémité supérieure de l'anche double, ce qui explique la morphologie de la queue de note correspondant au glissando de chaque exemple de l'illustration 10.

Illustration 11: "Doigtés aléatoires" (sic)

Les sons multiphoniques aléatoires présentent, encore à ce jour, l'un des points dont la représentation graphique, la notation, pose l'un des problèmes les plus évidents. Du fait de l'imprévisibilité des résultats sonores, bien que chaque son multiphonique dit aléatoire ait sa propre structure, PENAZZI utilise une notation qui ne fait appel ni aux hauteurs, ni aux rythmes perceptibles. Cette notation fait appel à la seule certitude qui, pour lui, peut être évoquée : le doigté instrumental.

Sur une nouvelle publication de Sergio PENAZZI[13], augmentée d'une dizaine d'année de recherches, en collaboration avec le Centro di Sonologia Computazionale de l'Université de Padoue, de nombreuses précisions ont été ajoutées dans la notation des sons multiphoniques, notamment :

13 PENAZZI [1982]

- la notation des hauteurs systématisée de la précision du huitième de ton, avec la possibilité d'inclure dans cette même notation des hauteurs correspondant à des fréquences fondamentales virtuelles ou différentielles, fréquences tellement basses qu'elles ne peuvent pas être produites naturellement par l'instrument, car en dehors de la tessiture la plus grave du basson.

- une plus grande sélection de passages entre sons multiphoniques par modification de la position des lèvres, sur l'alternance de sons multiphoniques stables/instables, la possibilité d'enchaîner des notes simples à des sons multiphoniques, etc...

Pour cette nouvelle publication, PENAZZI envisage aussi un plus grand confort de lecture en dessinant la structure morphologique des clés et trous du basson afin d'y noter les doigtés. Notons au passage que deux disques audios sont inclus dans la publication.

Les trémoli de sons multiphoniques, sans être une nouveauté dans les découvertes de PENAZZI, figurent comme des techniques dont il précise beaucoup la notation, en particulier en différenciant les traits de trémoli selon que les sons multiphoniques concernés soient homogènes, hétérogènes ou aléatoires.

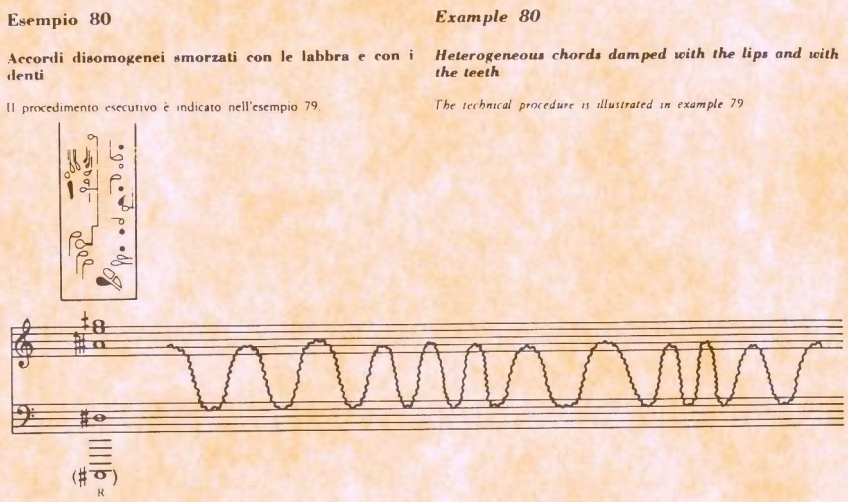
Esempio 80
Accordi disomogenei smorzati con le labbra e con i denti
Il procedimento esecutivo è indicato nell'esempio 79.
Example 80
Heterogeneous chords damped with the lips and with the teeth
The technical procedure is illustrated in example 79

Illustration 12: "Accords hétérogènes amortis avec les lèvres et avec les dents" (sic)

Plus originales, quelques notations apparaissent dans ce deuxième ouvrage. L'illustration 12 vise à montrer qu'il est possible de traiter les sons multiphoniques, les parcourir à la vitesse souhaitée, comme au niveau des changements de hauteur de filtres que l'instrumentiste peut contrôler (ici avec ses lèvres et ses dents). Sur ce même principe ont été développées des notations aussi diverses qu'intéressantes. En fin d'ouvrage, PENAZZI condense les notations développées dans son ouvrage, ce qui produit l'illustration suivante :

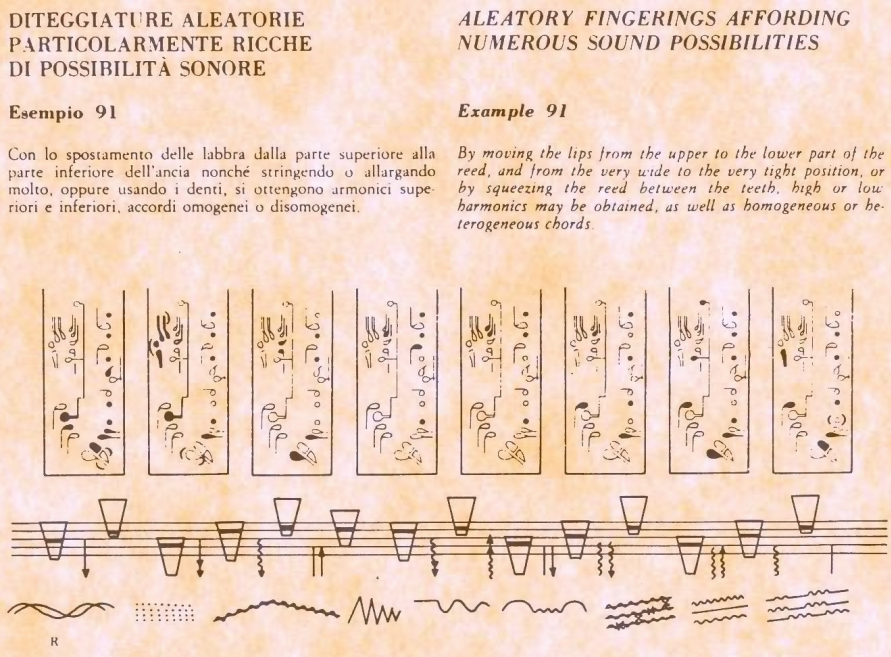
DITEGGIATURE ALEATORIE PARTICOLARMENTE RICCHE DI POSSIBILITÀ SONORE
Esempio 91
Con lo spostamento delle labbra dalla parte superiore alla parte inferiore dell'ancia nonché stringendo o allargando molto, oppure usando i denti, si ottengono armonici superiori e inferiori, accordi omogenei o disomogenei.
ALEATORY FINGERINGS AFFORDING NUMEROUS SOUND POSSIBILITIES
Example 91
By moving the lips from the upper to the lower part of the reed, and from the very wide to the very tight position, or by squeezing the reed between the teeth, high or low harmonics may be obtained, as well as homogeneous or heterogeneous chords.

Illustration 13: "Doigtés aléatoires particulièrement riches en possibilités sonores" (sic)

Cette illustration démontre que l'on peut noter de façon relativement précise des sons multiphoniques sans avoir recours à la notation de hauteurs précises. La position verticale du symbole relatif à la position des lèvres sur l'anche double définit la hauteur relative du son multiphonique en position initiale. La notation en-dessous de la portée définit le comportement du son multiphonique selon des critères cités par PENAZZI dans des exemples antérieurs et les flèches verticales définissent le mouvement de lèvres après la position initiale.

Le traité d'Alexandre OUZOUNOFF intègre, lui aussi, divers aspects des sons multiphoniques que l'on avait pu déjà constater chez Sergio PENAZZI, notamment la position de l'embouchure. Bien que l'étude faite par Alexandre OUZOUNOFF soit destinée au basson du système français, nous pouvons tout de même constater que certains éléments des tables de sons multiphoniques correspondent aussi bien à certains critères qu'a pu adopter Sergio PENAZZI en 1971 et en 1982. En revanche, les termes employés pour classer les sons multiphoniques par Alexandre OUZOUNOFF diffèrent de Sergio PENAZZI : « Harmoniques », « stables », « appogiaturés » et « avec roulement » forment la classification d'Alexandre OUZOUNOFF.

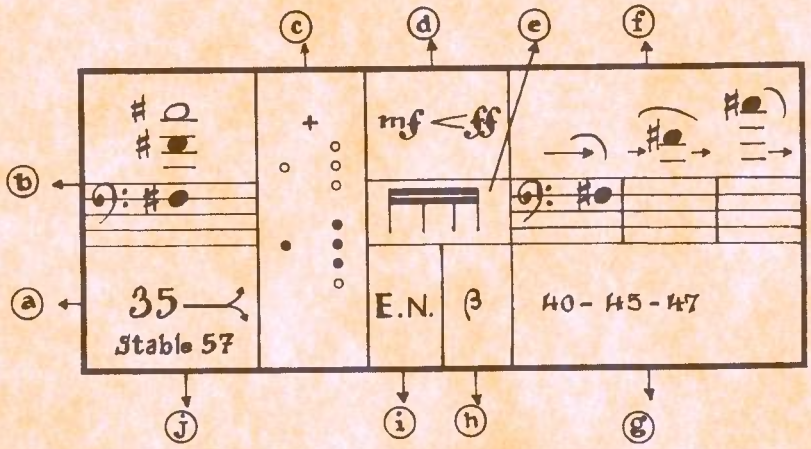

Illustration 14: « Code de lecture des tables de Sons multiphoniques », page 30

Il s'agit d'un traité construit pour être une référence pour les bassonistes jouant du système français. La différence essentielle entre les deux systèmes de basson tient au résultat des sons multiphoniques dont la distribution des harmoniques et inharmoniques ne sera pas la même, de toute évidence.

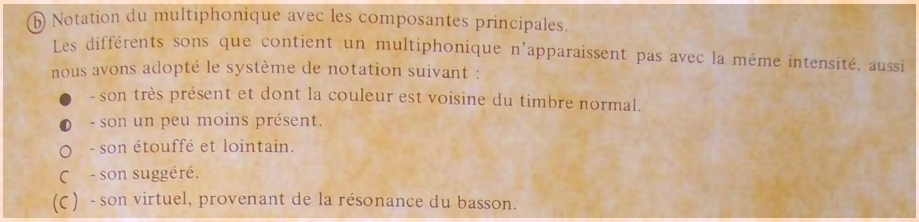
ⓑ Notation du multiphonique avec les composantes principales.
Les différents sons que contient un multiphonique n'apparaissent pas avec la même intensité, aussi nous avons adopté le système de notation suivant :
● - son très présent et dont la couleur est voisine du timbre normal.
◐ - son un peu moins présent.
○ - son étouffé et lointain.
( ) - son suggéré.
(( )) - son virtuel, provenant de la résonance du basson.

Illustration 15: Code de lecture de la forme graphique des notes, page 31

Faute de pouvoir noter les nuances de chaque son entendu, Alexandre OUZOUNOFF développe une codification intéressante des intensités des notes selon la forme de la note graphique : « son très présent et dont la couleur est voisine du timbre normal », « son un peu moins présent », son étouffé et lointain », « son suggéré », « son virtuel, provenant de la résonance du basson »[14].

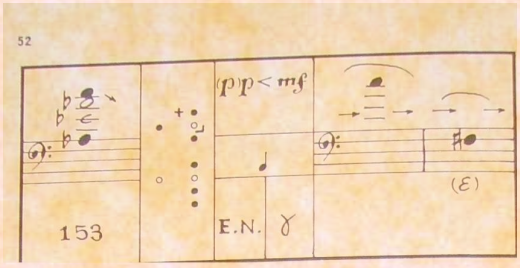

Illustration 16: Exemple de notation chez Alexandre OUZOUNOFF, page 52

Nous noterons la mise en correspondance du code de lecture de la forme graphique des notes avec l'étude perceptive des sons multiphoniques. Pour Alexandre OUZOUNOFF, en effet, l'étude semble avant tout perceptive. Il ne fait jamais mention d'analyse acoustique ou d'utilisation de l'informatique pour aider à l'étude. La notation est, par conséquent, plus tournée vers la précision de la production de son et de la perception, vue du côté de l'instrumentiste.

Cette méthode pour basson a des avantages du point de vue de l'interprète et du compositeur : il s'agit de se placer du côté de la notation classique et de mettre en correspondance la perception du son avec sa notation, rendant aisément lisibles et relativement reproductibles les sons multiphoniques. Par contre, cette méthode a quelques limites visibles : les nuances évoquées, quoique délimitées, sont floues. Pour illustration, on ne sait pas s'il s'agit d'une intensité mesurable physiquement ou s'il s'agit d'une correspondance entre les nuances et la pression d'air à émettre pour

14 OUZOUNOFF [1986], page 31

produire le son multiphonique. Le problème qui se pose est un problème de précision : chaque musicien a sa propre perception des nuances, ce qui, sans supprimer la valeur de la recherche à ce sujet, amoindrit la pertinence du paramètre dans les tables de sons multiphoniques.

c) Difficultés induites par les normes de la notation occidentale sur la notation des sons multiphoniques

Évidemment, formaliser les sons multiphoniques est une réduction, par la graphie de la notation, des sons multiphoniques. Il faut rappeler que l'espace de composition qu'est la partition permet traditionnellement d'écrire des hauteurs de notes selon une acception antérieure aux recherches acoustiques du XX^{ème} siècle. L'idée est qu'il faut alors écrire sur un espace symbolique des notes qui s'attachent à l'espace acoustique. Il y a donc des choix à effectuer. Ce choix s'exprime par la multiplicité des typologies de notation des sons multiphoniques. Pour être conscient des choix à effectuer, il faut être conscient de plusieurs paradoxes[15] musicaux :

- écrire des fréquences converties sous forme de notes (hauteurs).

- écrire des rythmes qui apparaissent alors qu'il ne s'agit pas de ré-émissions de sons, mais de battements entre certaines fréquences

- écrire des nuances que l'on devra choisir entre leur acception acoustique (volume sonore), leur acception physique (pression d'air suffisante à émettre[16]) et leur acception « musicale » (intentionnalité expressive).

- savoir que plus la notation sera fournie en terme de détails symboliques, moins le résultat sonore sera productible ou reproductible (influences de l'instrumentiste, de la qualité de l'anche double, de l'instrument, de l'espace acoustique où l'instrumentiste se trouve)

---

15 Nous prenons « paradoxe » comme étant le mot qualifiant une proposition mettant en relation deux idées qui sont logiquement contraires, ou deux idées qui se situent à une échelle ou un plan différent. Ici, il ne s'agit pas des « paradoxes musicaux » au sens que prend Jean-Claude RISSET

16 La pression d'air à émettre se trouve sur une échelle allant de 1,5 kPa à 1,8kPa FLETCHER [1987], page 494

- moins la notation sera fournie en terme de détails symboliques, plus difficile sera une exécution conforme à la pensée du compositeur. Nous devons cependant faire exception d'une notation qui, pour le compositeur, n'est pas importante ou nécessaire pour comprendre l'œuvre. Il est important de se positionner par rapport à l'utilité de la partition dans un tel cas (enjeux musicaux et positions esthétiques)

Ainsi, les différences de notations des sons multiphoniques prouvent simplement qu'il n'y a pas qu'une façon de les écrire et que la façon dont on choisit de les écrire déterminera quels aspects des sons multiphoniques le musicien devra les interpréter.

Quel est donc l'enjeu de la notation des sons multiphoniques? Est-ce un simple critère de lecture? Ou cela traduit-il une option du compositeur pouvant révéler un enjeu esthétique?

Simplement, nous nous sommes efforcés de garder à l'esprit la recherche de notations des sons multiphoniques. La conclusion, qui nous permet de raccrocher cette question « ouverte » de la notation, est : quelle notation devrait-on employer? En d'autres termes, qu'est-ce qui nous intéresse lorsque l'on veut composer puis entendre les sons multiphoniques notés? Et enfin, jusqu'où devons-nous ou pouvons-nous aller, en terme de précision, dans notre notation?

2. LES SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON : CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET ANALYSE PAR INFORMATIQUE

Nous avons traité précédemment la question de la notation des sons multiphoniques. Au fur et à mesure de l'analyse, nous avons pu sonder quelques variables qui influencent la production de tels sons, avec toute la problématique de l'écriture de ces sons sur un espace symbolique et son interprétation en lecture. Implicitement, nous avons aussi entamé une démarche qui consiste à dire que le son multiphonique est noté selon sa sonorité, ce qui nous oblige à aborder quelques questions d'ordre physiques et analytiques. Ce sont ces questions que nous nous proposerons de traiter dans la partie qui suit.

2.1. Caractéristiques physiques

Un son dit « naturel » est composé d'une fréquence principale - appelée fréquence fondamentale-, dotée généralement de la plus forte amplitude, ainsi que de multiples de cette même fréquence. Ces multiples de la fréquence fondamentale sont alors appelés fréquences harmoniques.

L'une des caractéristiques des sons multiphoniques est la constitution de plusieurs fréquences fondamentales alternées qui s'accompagnent de leurs fréquences harmoniques respectives.

Le son multiphonique possède deux caractéristiques alors particulièrement notables : confondues entre elles, les fréquences alternées produisent une autre fréquence résultante, voire plusieurs autres. Le frottement provoqué par l'attaque de chaque fréquence fondamentale et de ses multiples produit la constitution de partiels qui ne sont pas nécessairement sous forme de multiples de fréquences par rapport à une quelconque fondamentale.

Le rapport entre les fréquences alternées définit la présence ou non de

fondamentales virtuelles, des harmoniques artificielles ou des hauteurs différentielles[17]. Cela pose par conséquent le problème de la perception auditive par rapport aux analyses fréquentielles par le sonagramme notamment. Ainsi, les analyses aidées par l'informatique nous seront d'un grand recours dans la majorité des cas, mais nous n'oublierons pas d'estimer à l'audition certains sons reconstitués et qui ne seront pas présents dans les analyses fréquentielles.

Inévitablement, plusieurs problèmes sont sous-jacents à l'estimation des sons multiphoniques. Ce sont des sons qui peuvent avoir une structure complexe, dont l'oreille n'extraira qu'une partie de ce qui y est audible[18], et sera irrémédiablement conduite sous des *relations de proximité*[19].

En outre, le phénomène des battements, ou celui des roulements, mais surtout l'estimation de sa présence peut être variable selon deux critères : le premier est la fréquence des battements, au delà d'un certain seuil, cette fréquence de battements devient fréquence de hauteurs perceptibles, le deuxième est la perception cognitive des battements qui rend plus difficile l'estimation d'une présence ou non de battements.

Dès lors que l'on souhaitera mettre sous partition la notion de multiphonique, il y aura aussi, nous l'avons déjà abordé, des caractéristiques du son multiphonique qui ne seront pas notées. Cela est aussi le fait que la notation occidentale privilégie les hauteurs par rapport aux fréquences, les attaques conscientes de sons par rapport au rythmes internes de certains d'entre eux (phénomènes de battements, roulements, etc.). Tout ceci fait que la façon de noter les sons multiphoniques révèle la priorité que l'on prend dans l'exécution instrumentale de ces sons particuliers.

---

17 PENAZZI [1982], page 7 : « It is also important to observe that chords can comprise sounds of different kinds : apparent fondamentals, artificial harmonics, differential tones, etc. »

18 Ce sont les « variabilités perceptives individuelles », la « zone sensible de l'oreille et la zone d'écoute des fondamentaux musicaux », CASTELLENGO [1982], page 10

19 « Ce point est important pour les sons multiphoniques : leur « effet » dépend du contexte (les sons qui précèdent ou qui suivent », CASTELLENGO [1982], page 10

a) *Exemple de sonagramme et analyses de résultats*

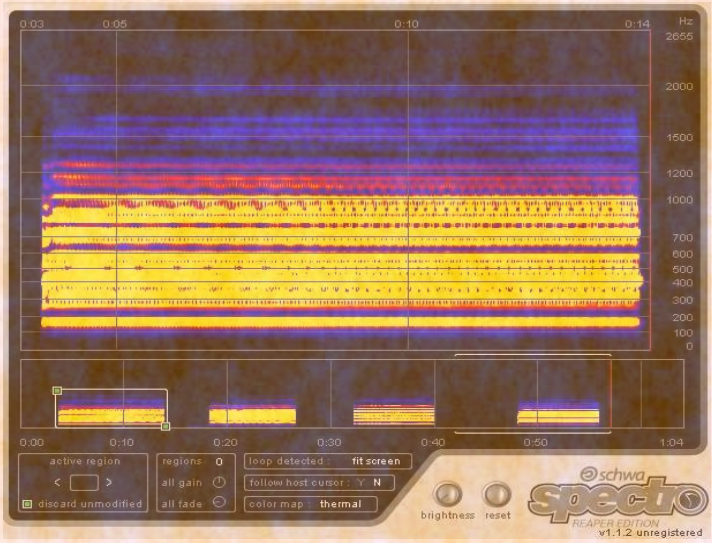

Illustration 17: Sonagramme d'un son multiphonique homogène

Le sonagramme nous permet d'avoir une vue graphique d'un son, et éventuellement de pouvoir extraire des données numériques provenant de l'analyse FFT du son analysé. Plus que d'extraire des fréquences, le sonagramme montre la présence de roulements ou de battements[20].

D'autre part, le sonagramme permet d'analyser la répartition des fréquences selon le son, mais aussi selon la source de captation, mais aussi en fonction du type de capteur (microphone).

Pour définir la présence d'un son multiphonique hétérogène, il ne suffit pas de démontrer la présence de battements, il faut surtout en définir la fréquence. Nous avons dit précédemment que le son multiphonique était une alternance plus ou moins rapide de fréquences fondamentales et de leurs multiples. Les battements, audibles grâce au phénomène d'attaque des sons, sont les signes de ces alternances. Pour qu'un son multiphonique soit considéré comme homogène, il faut alors que les attaques soient moins perceptibles et/ou que les battements soient suffisamment rapides pour être perçues comme fréquences, c'est à dire que leurs fréquences dépassent le seuil des 20Hz correspondant aux premières fréquences audibles.

20 Définitions de battements et roulements, CASTELLENGO [1982], page 7

b) Production instrumentale de sons multiphoniques

Nous avons pu dégager cinq techniques instrumentales pour produire des sons multiphoniques.

La première technique consiste à trouver un doigté spécifique qui permette cette hésitation de l'air entre plusieurs sorties de la colonne d'air. Avec un souffle suffisant et pas trop forcé, un multiphonique apparaît avec plus ou moins de facilité.

La deuxième technique vise à prendre une position des lèvres sur l'anche double différente de la position usuelle[21]. Ainsi, cela change le rapport entre la longueur de résonance de l'anche double et la longueur de la colonne d'air. Le rapport devenant plus complexe, le son induit suit la même logique.

La troisième technique pour produire un multiphonique est d'adopter un régime de pression d'air inférieure à la normale, de sorte que l'air n'ai pas la vitesse suffisante pour être dirigé en ligne droite et, ainsi, favorise les sorties d'air les plus proches.

La quatrième technique imaginée est de produire des tremoli les plus rapides possibles de sons naturels ou, Sons multiphoniques. Par ce procédé, le phénomène acoustique des Sons multiphoniques est, pour ainsi dire, émulé physiquement par le jeu instrumental.

Bien sûr, il est possible de combiner ces différentes techniques entre elles, ce qui constitue l'ultime manière.

2.2. Détection Informatique

Vouloir détecter un son par l'informatique demande beaucoup de dimensions de contrôle. Ces dimensions de contrôle sont nécessaires pour qu'en bout de chaîne – les résultats d'analyse - , les approximations soient considérées comme négligeables ou

21 La position des lèvres pour l'exécution de sons naturels est différente selon les hauteurs jouées, cela résulte en des variations conscientes ou imperceptibles de la position par l'instrumentiste.

plutôt, intégrées comme un élément de l'analyse. Nous avons pu parler en amont du contrôle de la notation, du contrôle de l'exécution de sons multiphoniques au niveau acoustique. Nous allons aborder à présent le contrôle du matériel nécessaire à l'obtention de données numériques, ainsi que de leur articulation autour des dimensions acoustiques et physiques.

a) La prise de son

La prise de son est une phase aussi importante que celle de produire un son multiphonique correcte. Il est évident que l'on cherchera dans un premier temps une fidélité maximale de la captation pour une analyse la plus rigoureuse possible. Dans un deuxième temps, il faut envisager le fait que les conditions d'expérience en studios seront impossible à reproduire dans des conditions de concert : la présence de bruits non-souhaités, les conditions acoustiques, le besoin d'efficacité des conditions de concert, font que le choix de microphones sera prépondérant, comme nous allons le déterminer.

Habituellement, un microphone dit de contact vise à capter les résonances provenant de l'intérieur de l'instrument. Pour les instruments qui possèdent des caisses de résonances, il n'y a aucun problème particulier à faire une prise de son en y appliquant un microphone de contact. En revanche, pour des instruments qui ne possèdent pas de caisse de résonance a priori, le microphone de contact est alors plus difficile à placer, et l'on est alors contraint de définir pourquoi on souhaite l'utiliser. Le basson, constitué de vernis sur plusieurs millimètres d'épaisseur, et d'une épaisseur d'érable constitutive du basson allemand, atténue les fréquences perceptibles par le microphone de contact. Les couches de métal, qui constituent les liaisons entre les parties du basson, n'offrent pas non plus de résonances suffisantes des sons produits. Pour cause, ces liaisons sont constituées d'une couche de métal, suivie d'une couche de plastique, de liège... En revanche, des signaux apparaissent très nets lors d'enregistrements, ce sont les bruits de clés et de souffle.

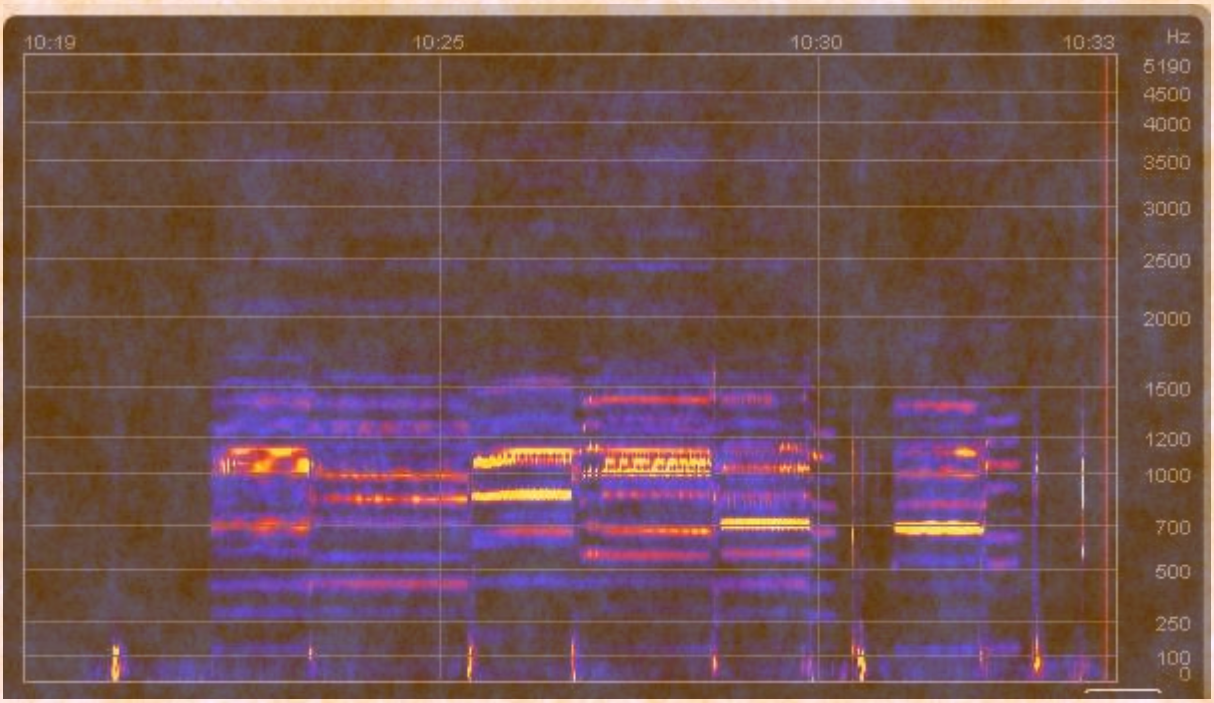

Illustration 18: Sonagramme de sons naturels et multiphoniques par un microphone de contact

Dans cette illustration, les bruits de clés apparaissent nettement sous forme de pics d'intensités qui se traduisent sur le sonagramme par une verticalité rapide et courte de fréquences. Ces pics sont ici aussi constitués d'un d'une accumulation de fréquences basses au-dessous de 100 Hertz.

Utiliser un microphone omnidirectionnel est un moyen très efficace d'obtenir une prise de son la plus réaliste possible. Ce type de microphone donne la possibilité de capter des sons sur 360 degrés. De ce fait, il ne « filtre » pas spécialement une zone géographique, il offre une bonne restitution d'ensemble, mais il peut capter aussi bien des sons de l'instrument comme des sons provenant de l'arrière du microphone, ce qui peut accentuer des effets de réverbération, ou de capter de la même façon des sons parasites aux intentions de la captation (bruits de pas, ventilations, grincements de chaise, etc..).

Pour utiliser de la meilleure façon un microphone omnidirectionnel, il est alors idéal de se trouver en studio.

Le microphone cardioïde (super-cardioïde ou hyper-cardioïde), lui, capte les sons sur une zone principale située en avant de la capsule (pour le super-cardioïde, il s'agit de l'avant et de l'arrière du microphone). Utiliser ce type de microphone revient

à cibler les sons que l'on souhaite enregistrer. Les sons captés par ce type de microphone pourront, et ce sera le cas pour le basson, ne refléter qu'une partie incomplète du son directement perçu à l'audition de l'instrument. Sans que cela soit véritablement la solution pour une amplification de concert, il reste un moyen de s'assurer de ne pas capter des sons extérieurs à la source sonore vers lequel il est dirigé. D'autre part, par ce filtre de zone géographique, le microphone cardioïde peut être un outil d'analyse informatique efficace, puisque l'on peut choisir non pas d'avoir un son à l'audition correcte, mais plutôt un son sur lequel on peut faire opérer une FFT, des détections de seuil d'amplitude ou d'attaque, etc.. L'analyse ainsi faite a besoin d'une qualité sonore, mais pas du niveau de l'amplification de concert, ce qui signifie que le microphone possède alors deux fonctions : l'une de capteur, l'autre de filtre, les deux devenant aussi importants l'un que l'autre.

En combinant trois microphones cardioïdes entre eux, il est possible de recréer une captation omnidirectionnelle et de choisir, en installation double MS, le qualité sonore voulue. C'est au travers de cette méthode que nous avons pu enregistrer les sons multiphoniques[22].

En utilisant des microphones de type cardioïde, hyper cardioïde ou super cardioïde, nous sommes capables de voir au sonagramme et d'entendre que les fréquences enregistrées varient beaucoup en fonction de la position du microphone par rapport à l'instrument.

22 L'enregistrement CD figure en Annexe.

Le positionnement de microphone

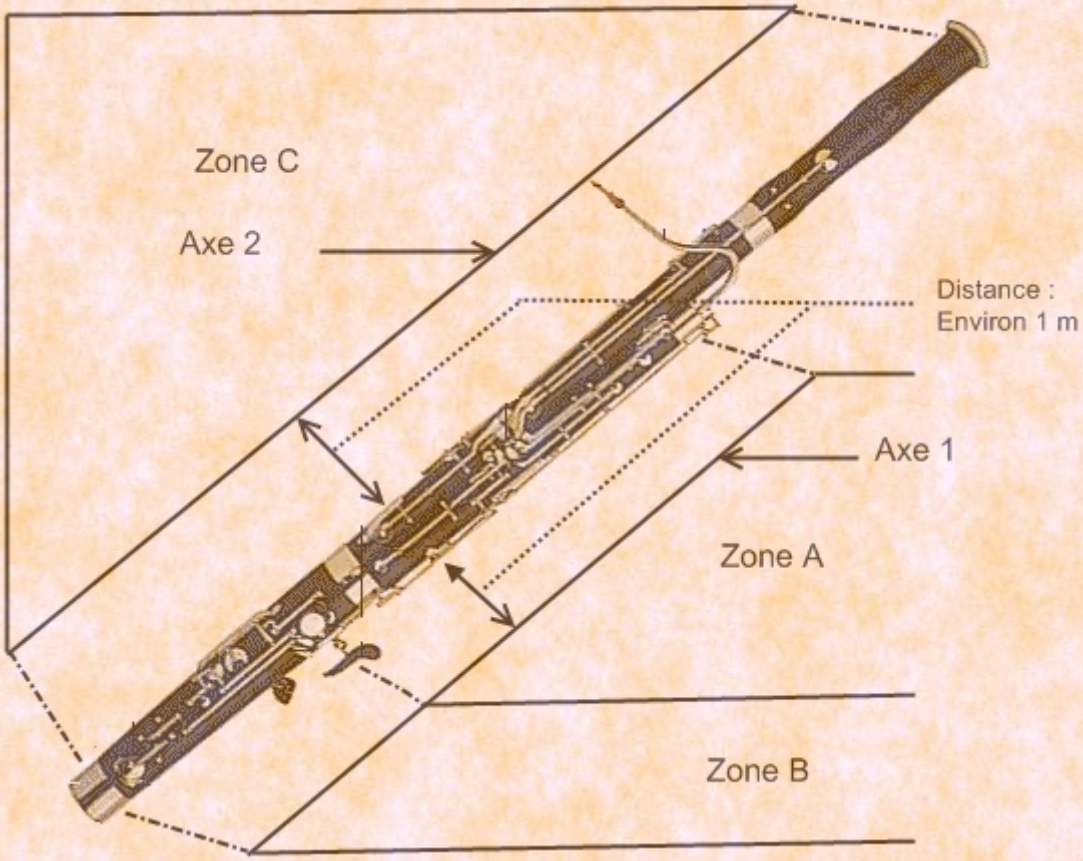

Illustration 19: Schéma du positionnement géographique des microphones

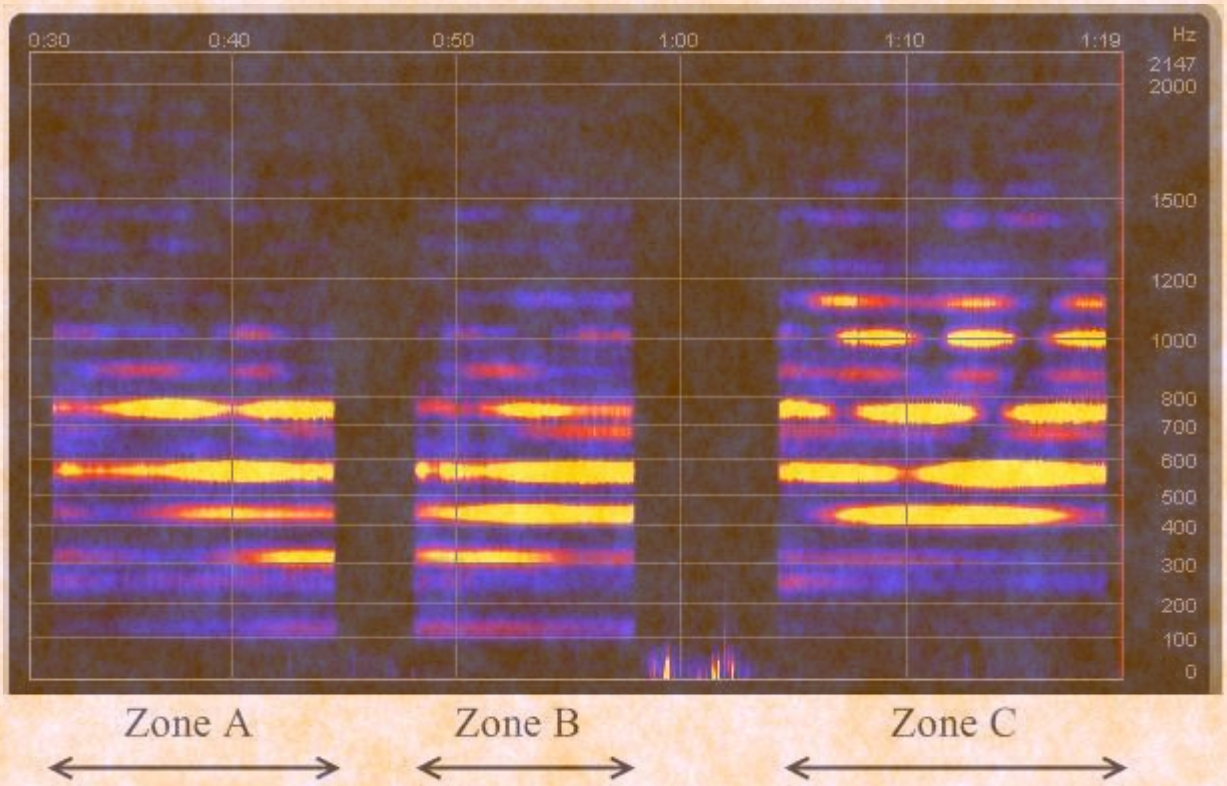

Illustration 20: Sonagramme de son multiphonique sur une captation mobile

Il est aisé de se rendre compte que le positionnement du microphone sera différent selon l'objectif de la prise de son. Le sonagramme de l'illustration 19, qui fait partie d'une des expériences faites à propos du positionnement du microphone, nous permet de conclure sur, au minimum, trois points.

Le premier est que, hormis de rares exceptions, chaque multiphonique homogène réagit de manière quasi-identique à l'analyse informatique sur l'essentiel des zones de captation

Le deuxième est que les sons captés le long de l'axe 2 ont des fréquences globalement plus élevées que sur le deux zones de l'axe 1.

Le dernier est que la zone où sont statistiquement présents le plus de fréquences basses correspond à une petite zone proche de la quille sur l'axe 1.

Le résultat d'analyse au sonagramme pour certains des sons multiphoniques testés relativise cependant les conclusions portées plus haut. Cela n'entraîne pas en revanche une redéfinition des conclusions que nous nous proposons d'énoncer.

Si l'on souhaite traiter un son, il faut déjà une prise de son qui atténue naturellement certaines bandes de fréquences afin de favoriser la performance de la détection. Pour des questions de rapidité d'analyse informatique, il est préférable de repérer des fréquences relativement élevées.

En revanche, il est nécessaire d'obtenir un spectre sonore des plus larges possibles, avec le minimum de filtrage naturel, si l'on souhaite retransmettre le son du basson par une amplification ou à fin de traitement de sons enregistrés, car ce qui importe alors est la fidélité de restitution sonore et non la clarté du sonagramme. Par conséquent, pour une amplification du son du basson, un seul microphone, si aucun moyen de captation supplémentaire n'est possible, placé au niveau de la quille, peut suffire.

Ainsi, si l'on a ces deux objectifs à atteindre simultanément, le choix idéal est celui d'utiliser deux microphones séparés. Le premier, utilisé pour la détection du son multiphonique, pourrait se trouver soit près de la sortie du bonnet, soit près de l'extrémité basse de la culasse, et le second, situé à une distance raisonnablement proche en direction de la petite branche du basson, l'emplacement exact peut être variable selon sa préférence esthétique.

b) Analyse spectrale par FFT[23]

Afin de comprendre certains tenants de la FFT, il est nécessaire de pouvoir étudier la théorie qui la soutient. Dans cette section, nous n'allons évidemment pas tout détailler ni mathématiquement, ni physiquement, mais nous allons plutôt exposer l'essentiel à retenir, afin d'établir quelques limites dont nous serons conscients par la suite.

Une analyse par la Transformée Rapide de Fourier est plus compréhensible si l'on parvient à comprendre son but. Ce dernier est lié à la théorie de la transformée de Fourier, ainsi décrite :

> *La transformée de Fourier doit son nom au mathématicien français J.B. Fourier (1768-1830). Elle définit une série d'opérations mathématiques qui permet d'associer à une onde (un signal), une série de sinusoïdes de fréquences, d'amplitude et de phases déterminées. Elle permet donc de passer de la représentation temporelle (amplitude en fonction du temps) à la représentation spectrale (amplitude en fonction de la fréquence).*[24]

Il faut bien différencier série de Fourier de Transformée de Fourier, de Transformée de Fourier Discrète et de Transformée de Fourier Rapide. La série de Fourier vise la décomposition d'un signal périodique en signaux sinusoïdaux sans considération du temps, et la Transformée de Fourier vise la décomposition d'un signal non-périodique continu en signaux sinusoïdaux considérant le temps. Pour les deux autres transformées, le temps est une donnée intégrée dans le calcul. Pour la Transformée de Fourier Discrète, il est question d'avoir un signal à analyser qui soit déjà échantillonné, donc numérique, et enfin, la Transformée de Fourier Rapide est un algorithme de calcul pour accélérer celui de la Transformée de Fourier Discrète. Dans les faits, il existe plusieurs méthodes pour décliner la Transformée de Fourier Rapide.

La Transformée de Fourier Rapide est la seule emprise de la théorie de Fourier pour le musicien car l'un de ses buts est de s'adapter à une analyse en temps réel, l'autre est de s'adapter à un signal discret (donc échantillonné après conversion de données analogiques en données numériques).

La série d'opérations mathématiques qui correspond à la transformée de Fourier peut être déclinée sous plusieurs formes mathématiques. L'une des formes mathématiques est la suivante :

---

23 FFT = *Fast Fourier Transform* ou, en français, *Transformée de Fourier Rapide*
24 HANNA [2003], page 11

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

Où :

- f(t) est la fonction qui correspond au signal initial que l'on souhaite analyser. Cette fonction doit obéir à certaines conditions[25] pour être opérable.
- a_0 le premier terme constant,
- (a_n cos nωt + b_n sin nωt) une fonction périodique,
- n le rang des fonctions périodiques
- et ω la vitesse angulaire obtenue par une fonction de fenêtrage, fonction qui sert à égaliser les signaux en terme d'amplitude de signal. Nous aborderons un peu plus loin les généralités concernant cette fonction.

La fonction f(t) est impaire si a_n est nul pour tout n appartenant aux entiers naturels et elle est paire si b_n est nul pour tout n. Pour des questions de commodité, cette fonction f(t) est principalement étudiée pour la condition où elle est paire.

Par cette formule générale, on peut déduire l'amplitude A de chaque fonction périodique de la décomposition de rang n de f(t) :

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

On peut également déduire la fréquence, inverse de la période T :

$$Freq = 1/T = n\omega/2\pi$$

Si a_n n'est pas nul, on peut enfin déduire la phase φ_n:

$$\phi_n = \tan^{-1}(b_n/a_n)$$

Le calcul de l'amplitude, de la fréquence et de la phase de chaque décomposition de la fonction f(t) sont les seuls outils auxquels le musicien s'intéresse.

Une limite de la FFT est dans le fait que l'algorithme de la FFT a besoin de sectionner le signal à analyser sous forme de fenêtres d'un nombre d'échantillons donnés.

25 Conditions détaillées dans LECOMTE [2001]

D'une part, la fonction initiale (le signal à analyser) devra être régulière sur l'ensemble de la fenêtre d'échantillons, si tel n'est pas le cas, la décomposition sera faussée car le résultat comprendra une somme de sinusoïdes dont l'existence sur le temps de la fenêtre d'échantillons pourra être plus courte que la durée de la fenêtre elle-même.

D'autre part, les sinusoïdes, qui seront le résultat de la FFT du signal initial, seront limitées à celles dont deux périodes au minimum apparaissent à l'intérieur de la fenêtre d'échantillons.

En pratique, d'autres limites apparaissent. Premièrement, il n'est pas non plus possible d'évaluer la fréquence si l'on n'a pas la période, donc si la fenêtre d'analyse possède un nombre d'échantillons inférieur à ceux nécessaires pour reproduire 2T (2 périodes) par la fonction de fenêtrage, alors la période T ne sera pas visible par la FFT. Lié à cela, on ne peut pas agrandir indéfiniment la fenêtre d'échantillonnage pour une raison d'économie de stockage de donnée et de temps de calcul.

Deuxièmement, il faut définir le nombre de rangs n des fonctions périodiques et leur valeur numérique sur les entiers naturels, que l'on restreint en entiers naturels strictement positifs. Le temps de calcul est plus grand si l'on définit un grand nombre de rang vis-à-vis d'un plus petit nombre de rangs.

Enfin, il faut rappeler que le principe d'une FFT est de décomposer un signal complexe en somme se signaux sinusoïdaux. Deux principes qui sont la périodicité et la continuité des signaux sinusoïdaux pendant le temps de la fenêtre d'échantillons font que les constituants du signal complexe qui n'ont pas vocation à être périodiques, comme des bruits, ou dont la périodicité n'est pas continue sur le temps de la fenêtre d'échantillons, perturberont les résultats d'analyse par la FFT.

Malgré ces limites, la décomposition de la série fréquentielle, que nous pourrons aussi appeler décomposition de spectre sonore, aura l'avantage non-négligeable de mettre en avant certaines propriétés harmoniques des sons multiphoniques. La FFT nous sera utile pour cette utilisation.

D'un côté plus pratique, les expériences effectuées sur le basson nous montrent qu'un son naturel en-dessous du la grave au basson nous donne un résultat de hauteur ne correspondant pas nécessairement à la note jouée. Notre hypothèse est que la fréquence fondamentale est « noyée » autour d'autres fréquences harmoniques proches, car l'écart entre les fréquences harmoniques, dont la fondamentale est basse, est moins important que l'écart entre les fréquences harmoniques dont la

fondamentale est haute. Cette proximité de fréquences fondamentales et de fréquences harmoniques peut très bien entraîner une perturbation des résultats de l'algorithme qui extraie la hauteur du signal initial. Nous ne manquerons pas d'estimer également que des limites hors de celles de la FFT peuvent exister avant ou après la décomposition du signal à analyser. En particulier, nous pourrions une fois de plus le filtrage naturel des microphones, mais aussi, juste en amont de la FFT, les approximations des signaux continus par la conversion du signal analogique (continu) en en signal numérique (discret).

Concernant plus particulièrement les limites provenant de l'acquisition des signaux, il est utile, sans être indispensable dans notre cas, de souligner que l'échantillonnage, quoique nécessaire, est un facteur d'approximations. D'une part, par le théorème de NYQUIST-SHANNON, les fréquences présentes dans un signal discontinu (ici constitué d'échantillons régulièrement répartis sur l'axe temporel et affectés individuellement d'une coordonnée d'amplitude) ne pourront excéder la moitié de la fréquence d'échantillonnage du son analogique initial. Dans certains cas, des fréquences supérieures à cette limite peuvent être ramenées en fréquences inférieures[26]. Toute fréquence supérieure au seuil de NYQUIST est supprimée.

D'autre part, du fait de la discontinuité par la conversion analogique-numérique du signal, les points se situant entre deux échantillons sont effacés, ce qui a pour conséquence d'approximer le signal initial par cette conversion.

c) Analyse de sons multiphoniques enregistrés et exploitation des résultats

A partir de l'objet *fiddle* de Pure Data[27], nous avons tentés d'analyser des sons multiphoniques enregistrés au préalable[28].

De multiples précautions au niveau de l'enregistrement ont été prises, ainsi qu'au niveau du patch d'analyse sous Pure Data. Malgré ces précautions, des difficultés sont apparues.

---

26 Il s'agit du *crénelage*, appelé aussi *repli de spectre*, ou ,en langue anglaise, *Aliasing*.

27 i. e. : Il s'agit d'un programme orienté objet qui a pour vocation de permettre de concevoir des pièces de musique mixte en temps réel ou différé.

28 Enregistrements qui figurent en annexe sur un CD. Les résultats figurent aussi en annexe.

La première est la présence de données parasitaires, qui correspondent aux « attaques » de sons multiphoniques et qui déforment les moyennes de fréquences, ainsi qu'au niveau de la fin de chaque son, traduit par la chute soudaine de fréquences. Ces déformations ont pu être atténuées en prenant une valeur, sur sept émises, correspondant à la valeur médiane d'une liste qui s'actualise en temps réel.

La seconde difficulté réside dans le fait que, parfois, l'objet *fiddle* ne parvient à calculer la hauteur du son. Cette difficulté peut être éventuellement évacuée en utilisant l'objet *sigmund* pour le calcul unique des hauteurs.

La troisième difficulté est celle de la méconnaissance des méthodes de recherche et du matériel précis qui avait conduit PENAZZI à noter les « accords » de sons multiphoniques. En particulier, aucune information n'est disponible pour connaître avec quel type de fonction de fenêtrage l'analyse FFT de PENAZZI avait pu être possible.

Et enfin, une dernière difficulté réside dans l'exploitation des résultats. Prenant en considération le nombre d'étapes entre la notation initiale, support à l'enregistrement et la notation correspondant aux résultats après analyse – on y inclue l'étape de l'échantillonnage et de la conversion fréquence-hauteur ainsi que l'arrondi pour être au 1/8ème de ton près -, nous pouvons établir quelques conclusions.

Il en résulte donc que :

- Peu de sons multiphoniques enregistrés ont des résultats sous forme de notation finale proche de la notation initiale.

- La grande majorité des sons multiphoniques enregistrés montrent à l'analyse la présence de partiels

- La perception des sons multiphoniques par l'instrumentiste est différente de celle de l'écoutant après lecture des enregistrements : en particulier, des battements, qui n'étaient pas perçus pendant la phase d'enregistrement, sont audibles sur plusieurs des enregistrements.

- Un petit nombre de sons multiphoniques ont une grande ressemblance entre la

notation initiale et la notation finale. Malgré les approximations déjà citées, il est peu vraisemblable que ces ressemblances soient l'effet d'une somme d'erreurs d'approximation.

- L'hétérogénéité d'un son multiphonique est clairement visible à l'analyse des valeurs maximales et minimales. Nous prendrons le soin de ne pas analyser ni les attaques, ni les décroissances de la fin d'émission du son et nous pouvons calculer l'écart type des moyennes de chaque hauteur et fréquence et ainsi, en affirmant que plus l'écart type est grand, plus le son multiphonique se rapproche de la catégorie des sons multiphoniques homogènes.

- L'analyse des sons multiphoniques prend peu de ressources du processeur d'un ordinateur de configuration moyenne[29].

Notre méthode d'analyse est donc adaptable en temps réel.

d) La reconnaissance par conditions multiples sur bandes de fréquences issue d'une FFT

Utilisant le logiciel Pure Data, l'analyse spectrale des sons multiphoniques parmi les plus évidentes est celle utilisant l'objet *fiddle*, qui reproduit une analyse FFT en temps réel et permet quelques réglages de manière à adapter, plus ou moins, nos contraintes aux possibilités effectives de l'objet. Les réglages de cet objet sont multiples[30]. Ceux qui nous intéressent d'assez près sont les conditions d'amplitude minimale et maximale du son, le nombre de partiels à analyser, la fenêtre d'échantillonnage du son et la mesure en continu ou en prise instantanée.

Dans ses publications, PENAZZI n'expose pas la fonction fenêtrage utilisée comme support à la FFT. Nous avons choisi de garder la fonction de fenêtrage par défaut sur *fiddle*.

---

29 Estimation rapide valable pour l'année 2009. La technologie informatique avançant assez vite, on ne peut pas affirmer que l'analyse citée fonctionne avec une latence faible sur tout ordinateur du marché.

30 La liste des fonctions de *fiddle* est disponible dans l'aide de l'objet même sous Pure Data

Avec *fiddle*, il est possible de récupérer des fréquences issues d'une analyse FFT et les stocker, puis de définir des bandes de fréquences, plus ou moins larges suivant la précision demandée et de comparer ces bandes de fréquences avec des analyses en temps réel. Nous avons créé le patch[31] suivant avec le logiciel Pure Data :

31 C'est un programme informatique monté à partir de fonctions pré-programmées sous forme d'objets et que l'on peut relier ensemble, sous quelques contraintes.

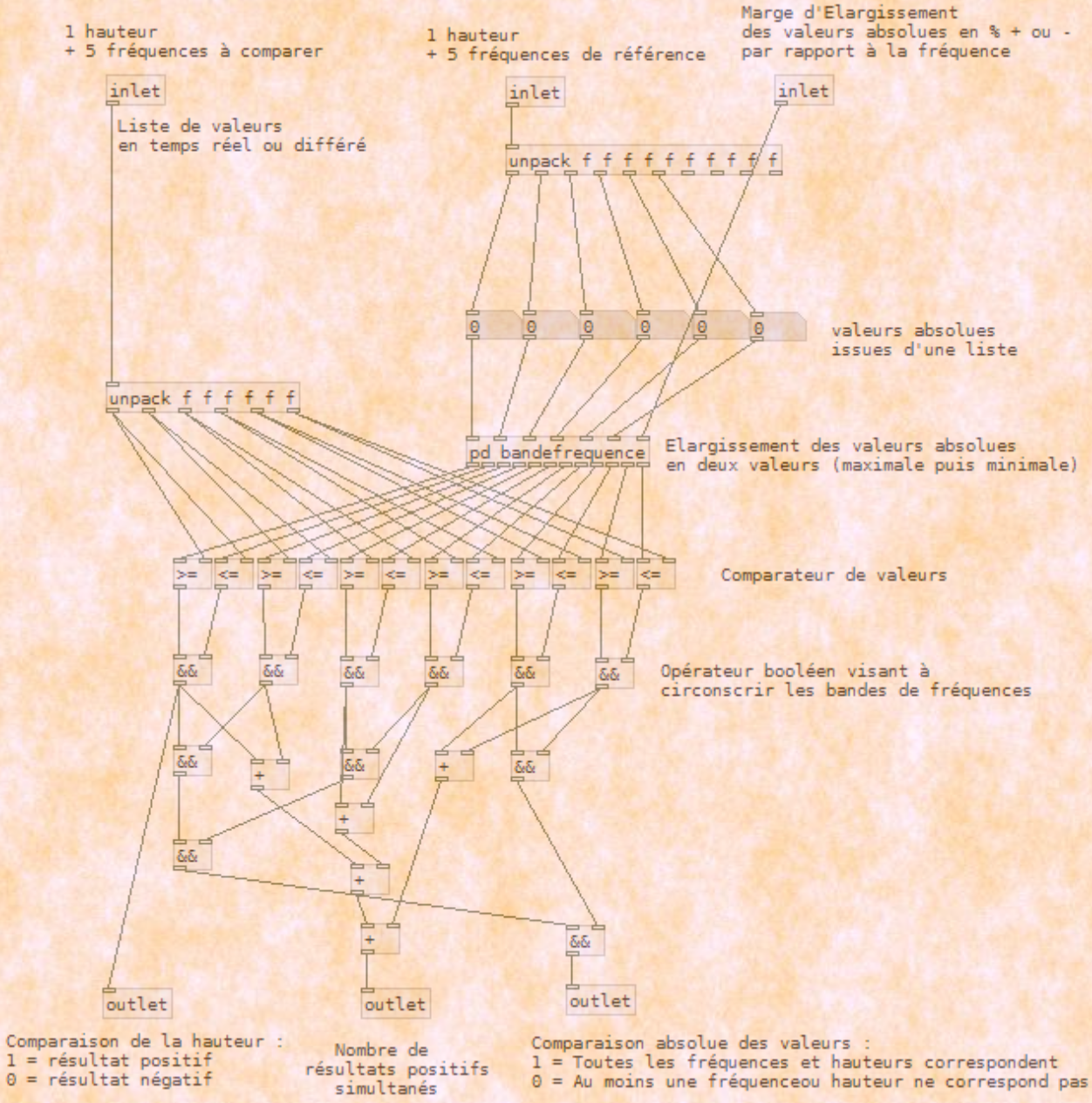

Illustration 21: Sous-patch « comparateur »

La comparaison de plusieurs données avec un signal en temps réel est impossible en simultané. Pour qu'une comparaison soit possible, il faut comparer les données les unes après les autres. Ceci pose évidemment le problème de la gestion d'un temps réel. Plus on aura de données de référence (stockées sous forme de liste), plus la latence entre le flux en temps réel et les détections pourra s'avérer grande, jusqu'au moment où la latence redéfinira le temps réel. Cette gestion de la latence est importante car c'est sur cet axe que peut se séparer le temps réel du temps différé[32].

Nous pourrions évidemment décider de monter les comparaisons en dérivation, mais cela pose alors le problème de la puissance de calcul, qui, sous la masse des données, peut mettre en péril le reste d'une programmation en temps réel. Une solution qui a été trouvée est celle de prendre les données stockées et de les intégrer manuellement dans des listes, le rappel d'une liste par rapport à une liste précédée d'analyses en temps différé nécessite moins de calculs du processeur et a l'avantage de fixer des analyses sans avoir à les refaire[33].

e) Autre formes de détection

A partir d'une analyse FFT, rien ne s'oppose à ce que nous envisagions des combinaisons sur la base de cette analyse. Par exemple, une étude de la brillance[34] du son multiphonique ferait certainement sens, tout comme l'étude de la densité spectrale de chaque son multiphonique.

Pour cette dernière, Pierre HANNA[35] propose une mesure de la densité spectrale, en adaptant les fluctuations d'intensités à des changements de mesure du nombre de pics minima et maxima par échantillons. Comme pour n'importe quelle analyse sonore, l'étude de la densité spectrale peut nous être utile.

---

32 « *[…] nous avons proposé une représentation susceptible d'incarner [une] posture non-dichotomique : axe « latentiel ». Il s'agit d'un axe tendu entre le temps réel et le temps différé considérés comme deux pôles idéaux (c'est à dire schématiquement entre une latence nulle et une latence infinie.* » BARKATI [2009], page 239

33 Dans une version précédente, nous avions choisi de provoquer une analyse des fichiers sons correspondant aux sons multiphoniques, puis de stocker l'analyse et de la rappeler. Ainsi, la première étape dure le temps d'exécution des fichiers sons. Dans la version suivante, nous avons imprimé les résultats puis entré ceux-ci dans des listes. Ces listes sont sauvegardés avec le patch, ce qui nous fait économiser du temps à l'ouverture du patch et à l'exécution du patch.

34 Nous définissons la brillance comme la « quantité » de fréquences hautes dans le spectre entier d'un son.

35 Dont la thèse est en référence HANNA [2003], page 156 pour la densité spectrale.

Autre détection envisageable : comparer directement les formes d'onde. L'avantage que l'on pourrait tirer de cette forme d'analyse est l'économie d'un niveau d'abstraction. En effet, alors que l'analyse FFT nécessite un calcul à partir de la forme d'onde, travailler directement sur la forme d'onde permet éventuellement de produire moins de latence.

L'idée est la suivante : on stocke une forme d'onde correspondant à un multiphonique dans un tableau et l'on soustrait les valeurs du tableau aux valeurs données en temps réel. Dans le cas idéal, s'il y a une correspondance exacte entre les valeurs du tableau et le son analysé en temps réel, la soustraction des deux résulte en une valeur nulle sur un temps donné. Or, plusieurs difficultés peuvent se présenter.

La première difficulté réside dans le fait qu'en acoustique, l'état idéal n'existe pas. La captation des microphones et l'approximation naturelle des microphones, de l'instrument et de l'instrumentiste rendent ce procédé d'analyse inutilisable en l'état. En effet, des bruits parasites peuvent apparaître entre deux enregistrements. l'instrumentiste, par des variations corporelles imperceptibles, inconsciemment change sa production sonore. L'instrument lui-même varie selon des conditions de température, de pression et d'humidité.

La deuxième difficulté est dans l'analyse de résultats qui ne donnent pas notre résultat nul idéal. L'idée selon laquelle un résultat différent de zéro à un instant « t » serait analysé comme une non-correspondance avec la forme d'onde stockée serait absurde. Il se peut que la mise en correspondance entre ces deux formes d'onde ne soit pas possible à cause d'un déphasage entre les deux.

Une troisième difficulté à résoudre est liée aux amplitudes mesurées. Selon l'intensité de la production sonore et la distance de captation des micros, il peut y avoir des variations qui, de toute façon, ne rendent pas possible un résultat autour de zéro.

Notre hypothèse est que cette méthode d'analyse est pourtant potentiellement fiable. Il faut simplement définir les conditions pour lesquelles elle est applicable, mais aussi savoir bien analyser les résultats.

Un résultat convenable serait celui-ci. Si la soustraction des deux formes d'onde produit une fonction constante, ou dont l'écart-type entre deux ou plusieurs valeurs tend vers 0, alors on peut parler de similarité entre ces deux formes d'onde.

Enfin, l'un des aspects que nous avons finalement peu étudié concerne la partie bruitée de chaque son. Cette partie bruitée, que l'on appelle aussi « bruitosité », consiste à extraire la part de bruits de chaque son, dont il est cependant difficile de donner une définition claire. Nous entendrons, ici, par bruit tout « signal complexe dont le spectre est dense, et qui ne peut être défini qu'en faisant appel aux outils statistiques »[36]. Cette mesure du bruit, qui, comme tout autre mesure doit être complémentaire à une autre -car un système de mesure unique est fragile et soumis à tout le poids du principe d'indétermination des mesures physiques-, peut être utile à la suite d'autres recherches sur les sons multiphoniques.

36 HANNA [2003], page 30

3. ILLUSTRATION MUSICALE DE LA DÉTECTION DE SONS MULTIPHONIQUES AU BASSON

Précédemment, nous avons pu aborder une partie de l'acoustique des sons multiphoniques. Nous avons pu également corréler cette première étude avec une analyse possible des sons multiphoniques qu'était la FFT. L'aspect de la notation de la première partie ajouté à l'analyse nous conduisent assez naturellement vers une application musicale de ces recherches. La partie qui va suivre souhaite aborder ces questions musicales au travers d'un travail personnel qui vise à créer une pièce pour basson et électronique en temps réel.

3.1. Réflexion autour de la pièce et poétique

Vouloir entraîner un contrôle du son par ses propres caractéristiques provoque une situation pour laquelle le compositeur, s'il n'est pas capable de régler très précisément ce qu'il veut entendre et la manière de régler les instruments d'analyse de ce qu'il y aura à entendre, risque de perdre le contrôle de son œuvre.

Face à cela, tout peut tourner autour deux démarches extrêmes, incluant la multitude de démarches intermédiaires. L'une des démarches est celle de s'assurer de conditions idéales d'exécution. Cela implique que toute la composition de l'œuvre à interpréter ait été conçue pour une acoustique donnée, pour un instrumentiste particulièrement doué avec un instrument unique, un public particulièrement attentif et silencieux, des influences extérieures négligeables et un matériel informatique ultra-performant. Dans l'immense majorité des cas, une pièce vise à être interprétée hors du milieu qui avait servi à sa création.

L'autre extrême démarche vise à concevoir le contrôle du son comme un élément distinct de l'interprétation instrumentale, ou alors comme une base à de l'improvisation, ce qui ne nécessite plus vraiment de partition instrumentale, ni de rigueur des conditions d'exécution.

Parmi les idées intermédiaires figure celle de concevoir l'instrumentiste comme contrôlant le son grâce au son lui-même. L'instrumentiste possède une partition[37] qui règle la série d'événements, mais ce même instrumentiste aura le devoir de s'adapter à la réaction informatique qui découle de ces événements. Il s'agit là d'un exemple de musique à visée interactive, contrôlée entre l'instrumentiste et la machine, la machine ayant elle aussi sa propre partition sous forme d'un patch.

La poétique qui pourrait soutenir une telle pièce peut être très vaste. Nous prendrons l'initiative de proposer une pièce dont la réflexion porte sur la réutilisation des matériaux, l'analyse de ceux-ci, comme le recyclage des déchets commence par leur tri. Il ne s'agit pas d'être rigoureusement ancré dans cette perspective. Cependant, cette réflexion peut paraître comme un fil conducteur. C'est, par ailleurs, ce que suggère le titre d' *Eco 1*, volontairement tronqué, pouvant évoquer à la fois « l'économie » ou « l'écologie », ou la volonté de répéter certains matériaux musicaux en écho (en espagnol notamment, écho s'écrit « eco »).

Le concept d'automatisme des actions informatiques, inspiré par la multiplication de la reconnaissance vocale dans les produits technologiques, nous a amené à penser des systèmes de contrôle similaires appliqués dans le domaine musical. Notons que les contrôles extérieurs de la machine seront réduits donc au minimum : les sons en entrée de la machine constitueront l'essentiel du contrôle de la machine.

37 Figurant en Annexe 3

3.2. Schéma formel

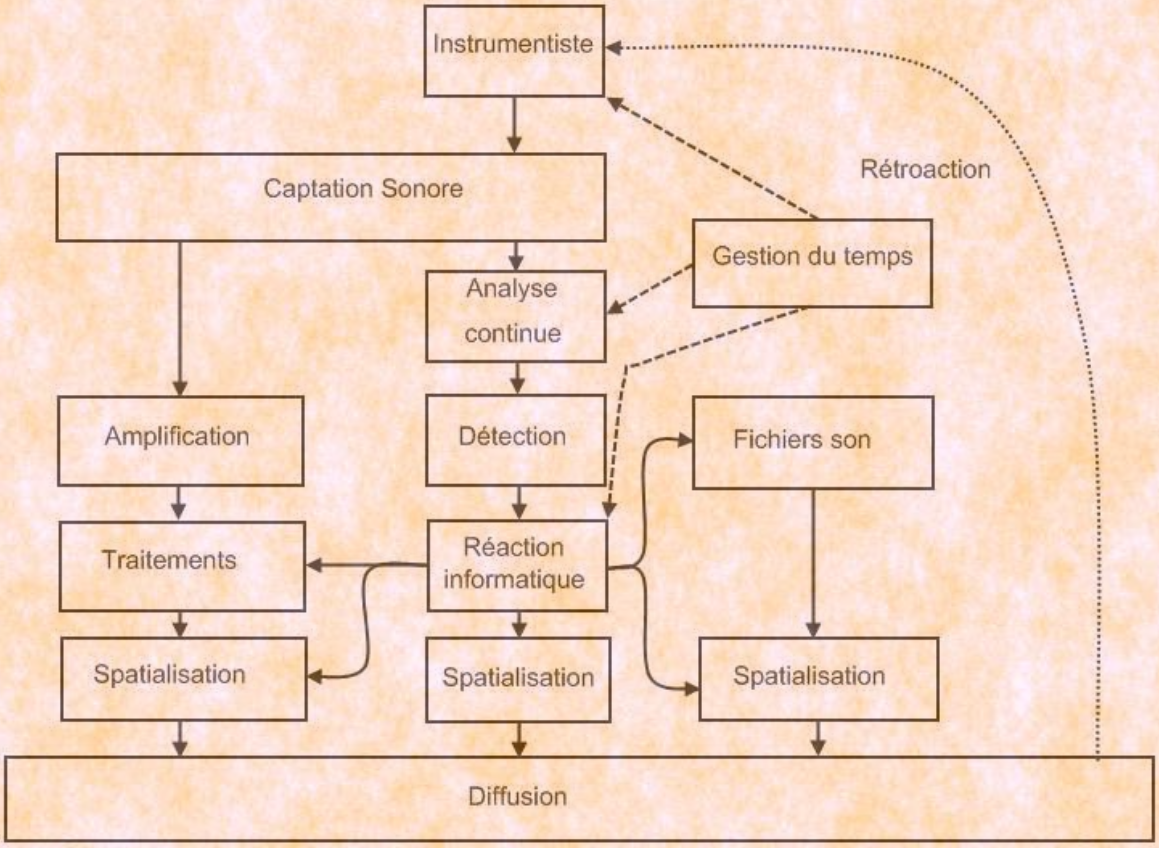

Illustration 22: Schéma de la structure de la pièce ECO 1

Eco 1 s'articule d'une bipolarité entre l'informatique et le bassoniste. Une boucle de rétroaction s'effectue en trois temps. Dans un premier temps, l'instrumentiste envoie des « données » sonores à l'ordinateur. Dans un second temps, ce dernier traite les informations et, selon le temps de la pièce, gère les éléments sonores de la diffusion, qui sera amplifiée. Dans un dernier temps, l'amplification revient à l'instrumentiste qui doit s'adapter à ce qu'il entend.

Parmi les éléments sonores de la diffusion sont inclus la spatialisation, les traitements du son du basson, son amplification si les traitements sont désactivés, ainsi que le déclenchement de fichiers sons, courts ou longs, qui constituent la bande sonore de la pièce.

En théorie, rien n'échappe à l'instrumentiste. En théorie seulement, car l'informatique, par des systèmes de seuil, et selon des conditions moins favorables, peut très bien ne pas réagir comme espéré. Si tout était contrôlable, il n'y aurait pas, par ailleurs, d'interaction entre l'informatique et l'instrumentiste.

3.3. Notation informatique

Nous venons d'aborder très rapidement la question de l'interaction dans cette musique mixte. Le sujet est plutôt complexe. Nous ne prétendons pas être très expérimenté dans ce domaine mais tenterons de dépasser le stade de l'évocation de cette pensée.

La meilleure manière de dépasser l'évocation reste à établir une programmation informatique qui laisse assez de marges pour qu'une approximation nécessaire à l'interprétation soit possible mais qui soit suffisamment détaillée et réglée pour que cette interaction soit contrôlable, comme nous tendons à le proposer.

En particulier, nous avions développé une manière de comparer des sons captés avec des données sonores déjà enregistrées.

A ce niveau, le problème ne se situe plus dans la détection et ses problèmes de seuil, mais dans la gestion du temps dans le programme informatique. Nous avons trouvé un moyen plutôt simple de gérer les détections.

Nous nous proposons, en conséquence, de montrer quelques patchs de précaution vis-à-vis du traitement des données d'analyse, suivi d'un bref commentaire.

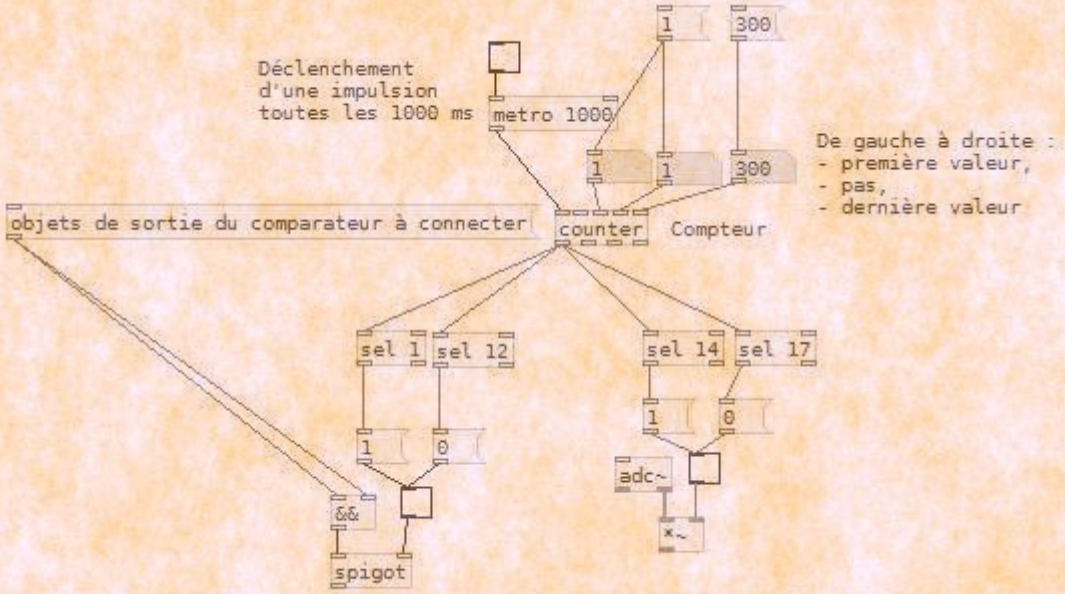

Illustration 23: Modèle de patch utilisant "spigot" ou "~"*

Quand il s'agira de permettre le déclenchement (sans déclenchement informatique direct) à partir d'un flux audio, nous utiliserons l'objet « *~ », dont la valeur en entrée à droite sera 1 ou 0. Avec une valeur 1, l'objet laisse entrer le flux audio, avec une valeur 0, l'objet ferme sa sortie de sorte que tout flux audio ne puisse pas sortir de l'objet.

Quand il s'agira de permettre le déclenchement à partir d'un flux de données, nous utiliserons l'objet « spigot »[38] , qui fonctionne comme le précédent objet décrit.

Enfin, les valeurs 1 et 0 sont définies en fonction du temps, c'est à dire qu'elle sont déclenchées elles-mêmes par un encadrement de valeurs pendant une durée délimitée d'un compteur appelé « counter » qui est étalonné en fonction de la durée totale de la pièce.

L'utilisation de tels objets est indispensable pour ouvrir et fermer les détections, afin d'éviter toute correspondance involontaire, en particulier pour les détections d'attaque par l'objet *bonk*.

38 L'équivalent de cet objet sur MAX/MSP est l'objet « gate »

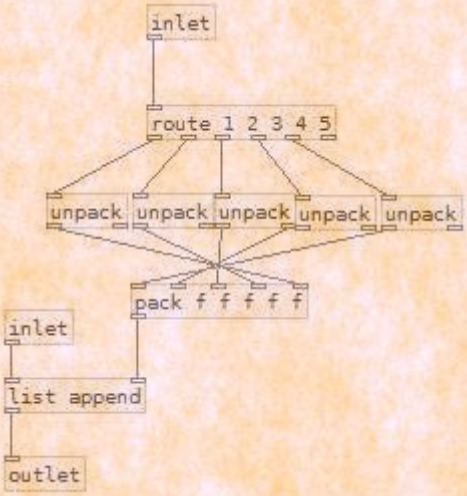

Illustration 24: Sous-patch « tempsréel »

La comparaison de la hauteur et des fréquences[39] après une FFT a été réglée de manière à obtenir deux listes en entrée du patch. Nous avons ordonné cette liste en imposant un premier élément qui est la hauteur, suivi des cinq fréquences de l'analyse.

39 Présentée en *Illustration 21*

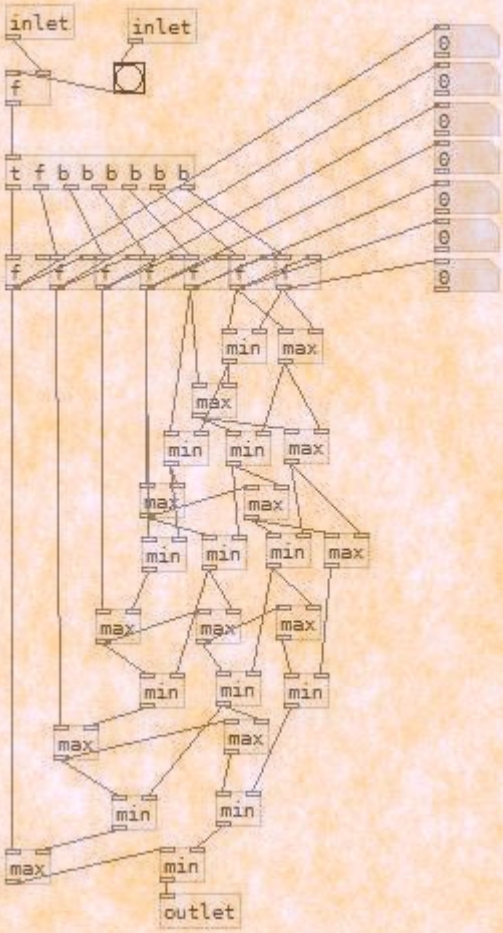

Illustration 25: Sous-patch « median »

Afin d'éviter d'obtenir des données de fréquences ou hauteurs trop dissemblables, il a été décidé de créer un patch destiné à extraire une valeur médiane en comparaison avec six autres. L'objet est utilisable en temps réel sans aucune difficulté.

Enfin, sans trop détailler le fonctionnement du programme informatique de la pièce, il a été décidé d'utiliser l'objet *fiddle* avec un réglage constant et unique : nous avons pris 1 hauteur, 5 fréquences sur une analyse par récurrence de 1024 échantillons, dont l'algorithme de *fiddle* cherchera 20 pics.

CONCLUSIONS

Nous avons pu, assez largement, aborder la question de la notation musicale des sons multiphoniques. Nous avions pu reconnaître qu'il n'existait pas de notation idéale pour représenter ce qui, dans la notation traditionnelle, est difficilement exprimable : le timbre. Ce constat, à notre sens, ne doit cependant pas être un frein à l'utilisation des sons dotés de timbres particuliers, mais plutôt, sachant cette limite de la notation, considérer d'autres critères comme l'écoute d'enregistrements sonores, ou alors comme l'oralité de la transmission de l'enseignement instrumental des sons aux timbres non-communs.

Nous avons pu trouver une manière, sans être des plus élégantes, peut être toutefois utile pour sélectionner plusieurs types de notation dans une même composition.

Une partie essentielle concernant l'acoustique du basson, et plus particulièrement des sons multiphoniques a été traitée. Sans être exhaustive, il a été démontré que de l'acoustique de chaque son multiphonique dépendait sa notation, ainsi que sa classification. Dans l'état actuel des recherches dans ce domaine, une systématisation de l'usage des sons multiphoniques indépendamment de ses interprètes s'avère impossible. En revanche, cette impossibilité peut ne pas s'avérer définitive.

Tout au long de notre travail, la question de la détection s'est posée. Pour nous, l'idée était d'analyser, d'extraire des données sonores, puis de définir leur appartenance. Il y a bien deux solutions possibles, mais dans les deux cas, il faut construire des modèles.

Le premier modèle est le modèle théorique, qui vise dans notre cas à définir ce que l'on considère comme sons multiphoniques et ce que l'on considère comme n'étant pas un son multiphonique, d'après des définitions acoustiques.

Le second modèle vise à définir, au moyen d' exemples en référence, ce que l'on considère comme sons multiphoniques, puis de les comparer avec d'autres sons dans un temps court. La troisième partie abordée visait cette direction, sans pour autant clore cette problématique.

Enfin, il serait bon de repenser le thème des sons multiphoniques. La technologie informatique a fait un bond incroyable depuis 1986, date des dernières recherches abordées par ce mémoire. En plus du bond technologique, l'informatique et le matériel d'enregistrement, d'amplification et de traitement deviennent financièrement de plus en plus accessibles, ce qui ouvre assez naturellement la voie sur une redéfinition de certains sujets qui ont besoin de la technologie pour être abordés.

Les sons multiphoniques semblent être un terrain favorable pour être à nouveau appropriés, aux vues des avancées technologiques des vingt dernières années. Comme un certain nombre de thématiques existantes, les sons multiphoniques ont encore, semble-t-il, un potentiel d'évolution au sein de la musique contemporaine, et notamment au sein de la musique mixte.

Concernant le basson, la complexité de son fonctionnement acoustique, ainsi que le manque de diversité des approches des compositeurs, ainsi que d'autres raisons plus ou moins complexes, ont retardé l'utilisation du basson dans la musique contemporaine et encore plus au sein de la musique mixte.

Sans aucune prétention, ce mémoire a pu élaguer certains a priori, et abordé certains points qu'il conviendrait de développer ultérieurement, et ainsi compléter la connaissance de l'instrument, la notation et les méthodes de contrôle sonore. Nous espérons néanmoins que ce travail entamé pour ce mémoire pourra servir d'inspiration à d'autres recherches.

ANNEXES :

Annexe 1 - 1 : Ouvrages cités ou consultés

AUDIN, Gilbert et DECREUX, Jean-Jacques, *10 ans avec le basson*, éditions IPMC, Paris, France, 1994

BARKATI Karim, *Entre temps et temps différé – Pratiques, techniques et enjeux de l'informatique dans la musique contemporaine*, thèse Université de Paris VIII, France, 2009

CASTELLENGO, Michèle, *sons multiphoniques aux instruments à vent*, Rapport IRCAM 34/82, France, 1982

FLETCHER, Neville H. et ROSSING Thomas D., *The physics of musical instruments Second Edition*, Edition Springer, USA, 1987

HANNA, Pierre, *Modélisation statistique de sons bruités : étude de la densité spectrale, analyse, transformation musicale et synthèse*, thèse Université de Bordeaux I, France, 2003

JÉHAN, Tristan, *Event-Synchronous Music Analysis/Synthesis*, article publié lors de la 7ème Conférence sur les Effets Audio-Numériques (« DAFx »), Naples, Italie, 2004

JOPPIG Gunther, *Hautbois et basson*, Edition Payot, Suisse, 1990

KIENTZY, Daniel, *Saxologie du potentiel acoustico-expressif des 7 saxophones*, thèse Université de Paris VIII, France, 1990

KIENTZY, Daniel, *Les sons multiples aux saxophones, Nouvelles Techniques Instrumentales*, Salabert Enseignement, Paris, 1982

LECOMTE, Michel, Transformation de Fourier, cours et exercices, Ecoles des Mines de DOUAI Juillet 2001. Documentation en ligne : http://fcd.ema.fr/fourier.pdf

OUZOUNOFF, Alexandre, *Actuellement le basson, traité pratique des nouvelles techniques au basson, à l'usage des interprètes et des compositeurs*, Editions Salabert, Paris, 1986

PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971

PENAZZI, Sergio, *Il fagotto, altre techniche, nuove fonti di espressione musicale*, Edition Ricordi, Italie, 1982

PUCKETTE, Miller, *The Theory and Technique of Electronic Music*, CRCA, 2006

Version PDF en ligne : http://crca.ucsd.edu/~msp/techniques/latest/book.pdf,

PUCKETTE, Miller, Documentation en ligne : http://crca.ucsd.edu/~msp/Pd_documentation/

READ Gardner, *Compendium of Modern Instrumental Techniques*, Greenwood Press Westport, Connecticut, London, 1993

RIEDELBAUCH, Heinz, *Systematik moderner Fagott und Bassontechnik*, Edition Moeck, Allemagne, 1988

ROSS, Leslie, Documentation en ligne : http://www.leslieross.net/multiphonics.html

Zeitgenössische Musik für Fagott solo, herausgegeben von Dieter HÄHNCHEN, VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1986

Annexe 1 - 2 : Référence des illustrations

Illustration 1 : Photo extraite du site http://pagesperso-orange.fr/orchestre-chartres-de-bretagne/bassons.htm et retravaillée par nos soins

Illustration 2 : *Zeitgenössische Musik für Fagott solo*, herausgegeben von Dieter Hähnchen, VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1986. Page 60

Illustration 3 : *Zeitgenössische Musik für Fagott solo*, herausgegeben von Dieter Hähnchen, VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1986. Page 4

Illustration 4 : *Zeitgenössische Musik für Fagott solo*, herausgegeben von Dieter Hähnchen, VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1986. Page 66

Illustration 5 : *Zeitgenössische Musik für Fagott solo*, herausgegeben von Dieter Hähnchen, VEB Deutscher Verlag für Musik, Leipzig, 1986. Page 14

Illustration 6 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 66

Illustration 7 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 73

Illustration 8 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 75

Illustration 9 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 76

Illustration 10 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 76

Illustration 11 : PENAZZI, Sergio et BARTOLOZZI, Bruno, *Metodo per fagotto*, Edition Suvini-Zerboni, Milan, 1971. Page 76

Illustration 12 : PENAZZI, Sergio, *Il fagotto, altre techniche, nuove fonti di espressione musicale*, Edition Ricordi, Italie, 1982. Page 116

Illustration 13 : PENAZZI, Sergio, *Il fagotto, altre techniche, nuove fonti di espressione musicale*, Edition Ricordi, Italie, 1982. Page 130

Illustration 14 : OUZOUNOFF, Alexandre, *Actuellement le basson, traité pratique des nouvelles techniques au basson, à l'usage des interprètes et des compositeurs*, Editions Salabert, Paris, 1986. Page 30

Illustration 15 : OUZOUNOFF, Alexandre, *Actuellement le basson, traité pratique des nouvelles techniques au basson, à l'usage des interprètes et des compositeurs*, Editions Salabert, Paris, 1986. Page 31

Illustration 16 : OUZOUNOFF, Alexandre, *Actuellement le basson, traité pratique des nouvelles techniques au basson, à l'usage des interprètes et des compositeurs*, Editions Salabert, Paris, 1986. Page 52

Illustration 17 : Sonagramme obtenu à l'aide du plugin *Spectro Schwa* du logiciel REAPER

Illustration 18 : Sonagramme obtenu à l'aide du plugin *Spectro Schwa* du logiciel REAPER

Illustration 19 :Photo extraite du site http://pagesperso-orange.fr/orchestre-chartres-de-bretagne/bassons.htm et retravaillée par nos soins

Illustration 20 : Sonagramme obtenu à l'aide du plugin *Spectro Schwa* du logiciel REAPER. Légende associée créée par nos soins

Illustration 21 : Copie d'écran d'un patch commenté, construit sur le logiciel Pure Data (version Windows Vista)

Illustration 22 : Schéma créé par nos soins

Illustration 23 : Copie d'écran d'un patch commenté, construit sur le logiciel Pure Data (version Windows Vista)

Illustration 24 : Copie d'écran d'un patch commenté, construit sur le logiciel Pure Data (version Windows Vista)

Illustration 25 : Copie d'écran d'un patch commenté, construit sur le logiciel Pure Data (version Windows Vista)

Annexe 2 - 1 : Enregistrements de sons multiphoniques sur CD

Annexe 2 - 2 : Tableau représentant les éléments de chaque piste du CD

Annexe 3 : Partition de Eco 1